

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département d'architecture
Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:.....

Mémoire présenté en vue de l'obtention
du diplôme de
Magister en : Architecture

Option : Architecture, Formes, Ambiances et Développement durable

**Optimisation de la forme urbaine par l'évaluation du
potentiel solaire**

Présenté par :
MAHAYA Chafik

Soutenu publiquement le 30 Avril 2014

Devant le jury composé de :

Dr. Benabbas Moussadek	Maitre de Conférences 'A'	Président	Université de Biskra
Pr. Zemmouri Nouredine	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
Pr. Dib Belkacem	Professeur	Examineur	Université de Batna
Dr. Brima Abdelhafid	Maitre de Conférences 'A'	Examineur	Université de Biskra
Mr. Houda Saddok	Maitre assistant 'A'	Invité	Université de Biskra

SOMMAIRE

Sommaire.....	I
Dédicace	VIII
Remerciements	IX
Résumé	X
Liste des figures.....	XII
Liste des tableaux	XVII
Liste des Schémas.....	XIX
Liste des Graphes	XIX
INTRODUCTION GENERALE	
Contexte général.....	02
Problématique et enjeux	04
Objectifs	06
Hypothèses	07
Méthodologie et approche	08

CHAPITRE 01

Comprendre le soleil : établir un background conceptuel.

I.1. INTRODUCTION :	12
I.2. L'IDEE DE L'ACCES SOLAIRE DANS L'ENVIRONNEMENT BATI	13
I.2.1. Histoire du soleil dans l'architecture et le planning urbain	13
I.2.1.1. Le soleil dieu	13
I.2.1.2. Les âges agricoles	16
I.2.1.3. La révolution industrielle et l'âge moderne	19
I.2.1.4. La crise de l'énergie	21
I.2.2. Signification et importance de l'accès au soleil en architecture	23
I.2.2.1. La performance énergétique	24
I.2.2.2. La performance lumineuse	25
I.2.2.3. La performance esthétique	27
I.3. LE SOLEIL ET L'ENERGIE SOLAIRE	28
I.3.1. Le soleil	28
I.3.2. Le rayonnement solaire	30
I.3.2.1. Rayonnement Direct	31
I.3.2.2. Rayonnement Diffus	31
I.3.2.3. Rayonnement réfléchi	32
I.3.2.4. Rayonnement global	32
I.3.3. Le soleil source de lumière du jour	32
I.3.3.1. Les conditions de ciel	32
I.3.3.1.1. Ciel clair	32
I.3.3.1.2. Ciel partiellement couvert	33
I.3.3.1.3. Ciel obscurci ou couvert	33
I.3.3.1.4. Ciel standards	33
I.3.3.2. Le facteur de lumière du jour.....	34
I.3.4. Le Soleil Source D'énergie Renouvelable	35

I.3.4.1. Le solaire thermique passif	35
I.3.4.2. Le solaire thermique actif	36
I.3.4.3. Le solaire photovoltaïque	38
I.3.4.4. L'éclairage naturel	38
I.4. CONCLUSION	40

CHAPITRE 02

La géométrie solaire et la simulation de l'ensoleillement

II.1. INTRODUCTION	43
II.2. ASPECT GEOMETRIQUE DU SOLEIL.....	43
II.2.1. Le mouvement : soleil- terre	44
II.2.1.1. Vision héliocentrique	44
II.2.1.2. Vision lococentrique et coordonnées solaires	45
II.2.1.2.1. Le mouvement apparent du soleil autour de la Terre	45
II.2.1.2.2. L'azimut du soleil	46
II.2.1.2.3. La hauteur angulaire du soleil (l'altitude)	46
II.2.1.2.4. L'angle horaire solaire	48
II.2.1.2.5. Le temps solaire vrai et l'heure légale.....	48
II.2.1.2.6. La latitude et les conditions saisonnières d'ensoleillement	49
II.2.2. Représentations graphiques	50
II.2.2.1. Abaques solaires universels	50
II.2.2.2. Diagrammes solaires	50
II.2.2.2.1. Diagrammes solaires monolatitudes.....	51
II.2.2.2.1.1.Représentation équidistante	52
II.2.2.2.1.2.Projection orthographique	52
II.2.2.2.1.3.Projection stéréographique	53
II.2.2.2.1.4.Les perspectives.....	53
II.2.2.2.1.5.Projection cylindrique.....	53
II.2.2.2.2. Diagrammes solaires multilatitudes	54
II.2.2.2.3. Le Girasol	54
II.2.2.3. Les gnomons	54
II.2.2.4. Les masques solaires	55
II.3. METHODES DE SIMULATION DE L'ENSOLEILLEMENT.....	57
II.3.1. Méthodes graphiques	58
II.3.1.1. Le tracé des ombres	58
II.3.1.2. Le tracé des masques	58
II.3.2. Méthodes analogiques	58
II.3.2.1. L'héliodon	60
II.3.2.2. L'horizontoscope	61
II.3.3. Méthodes numériques (outils informatiques)	62

II.3.3.1. Méthodes simplifiées	62
II.3.3.1.1. Outils de constitution de données	62
II.3.3.1.2. Outils de simulation simple	63
II.3.3.2. Méthodes complexes	64
II.3.3.2.1. La technique de lancer de rayons (<i>Ray tracing technique</i>)	65
II.3.3.2.2. La technique de radiosité	66
II.4. CONCLUSION	68

CHAPITRE 03

EFFET DE LA FORME URBAINE SUR L'IRRADIATION SOLAIRE.

III.1. INTRODUCTION	71
III.2. LA FORME URBAINE : SENS ET USAGE DU TERME	72
III.3. LA FORME URBAINE ET L'ACCES AU SOLEIL :	74
III.4. LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA FORME URBAINE ET LEURS INFLUENCES SUR L'IRRADIATION SOLAIRE (ETAT DE L'ART):	75
III.4.1. L'effet de la forme bâtie	75
III.4.2. L'effet des proportions et orientations des rues:.....	83
III.4.2.1. Formes & dimensions des rues (le profil urbain H/W)	84
III.4.2.2. Orientation des rues	88
III.4.2.2.1. Orientation Nord-Sud (Est-Ouest des façades)	91
III.4.2.2.2. Orientation Est-Ouest (Nord-Sud des façades)	91
III.4.2.2.3. Orientation diagonale des rues	92
III.4.2.2.4. Axe héliothermique	92
III.4.3. L'effet de la géométrie et des proportions des cours:.....	95
III.4.4. L'effet de la disposition des bâtiments et question de densité	102
III.5. DEFINITION DES INDICATEURS AYANT IMPACT SUR L'ENSOLEILLEMENT A L'ECHELLE URBAIN	107
III.5.1. Sky view factor (SVF)	108
III.5.2. Le profil (H/L)	109
III.5.3. Coefficient de forme (Cf)	109
III.5.4. La densité bâtie (Db)	110
III.6. CONCLUSION.....	112

CHAPITRE 04

METHODES D'EVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE ET PROCEDE D'OPTIMISATION RETENU

IV.1. INTRODUCTION	115
IV.2. METHODES D'EVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE	115
IV.2.1. Méthode d'analyse des ombres portés des bâtiments	117
IV.2.2. Méthode de Faessler	119
IV.2.3. L'approche d'évaluation à base d'images (ICUE)	122

IV.3. PROCESSUS DETAILLE DE L'APPROCHE RADIANCE (LESO-EPFL)	125
IV.3.1. Généralités	125
IV.3.2. L'évolution de l'outil du développement	126
IV.3.3. Les données en sortie (outputs)	128
IV.3.4. Projets de recherche utilisant ce processus d'évaluation	130
IV.4. ÉLABORATION D'UN MODEL D'ANALYSE.....	132
IV.4.1. Processus général pour l'évaluation du potentiel solaire de cas d'étude	133
IV.4.1.1. Calcul de l'éclairement et de l'énergie solaire globale.....	133
IV.4.1.2. Calcul de seuils	136
IV.4.1.2.1. Seuil pour les techniques solaires passives	136
IV.4.1.2.2. Seuil pour l'intégration des systèmes PV sur les bâtiments	136
IV.4.1.2.3. Seuil d'éclairement pour les systèmes de lumière du jour	137
IV.4.1.2.4. Seuil pour les collecteurs solaires actifs	137
IV.4.1.3. Calcul de surface d'enveloppe répondant à la condition de seuil.....	138
IV.4.2. Processus général pour l'optimisation de la forme urbaine par l'évaluation du potentiel solaire	139
IV.4.2.1. Effet de la forme et de la densité de bâtiments	140
IV.4.2.1.1. Procédure d'optimisation	141
IV.4.2.2. Effet de l'orientation et de l'inclinaison de toitures	141
IV.4.2.2.1. Procédure d'optimisation	143
IV.4.2.3. Effet de l'exposition de façades (orientation de rues)	143
IV.4.2.3.1. Procédure d'optimisation	143
IV.4.2.4. Effet du rapport de la hauteur de bâtiments à la largeur de rues (H/W)	145
IV.4.2.4.1. Procédure d'optimisation	145
IV.5. CONCLUSION.....	146

CHAPITRE 05

PRESENTATION DU CAS D'ETUDE ET CHOIX DE L'OUTIL DE SIMULATION

IV.1. INTRODUCTION	150
IV.2. PRESENTATION DU CAS D'ETUDE	151
IV.2.1. situation de la ville de Batna.....	151
IV.2.2. Caractéristiques climatiques	152
IV.2.2.1. Type de ciel.....	152
IV.2.2.2. Ensoleillement.....	153
IV.2.3. quartiers et secteurs urbains de la ville	154
IV.2.3.1. Critères de choix	157
IV.2.4. Le nouveau quartier administratif.....	158
IV.2.4.1. Lecture de la forme du quartier	160
IV.2.4.1.1. Aspect général	160
IV.2.4.1.2. Structuration de la voirie et profils H/W	160
IV.2.4.1.3. Forme de bâtiments et toitures	162
IV.3. LA CONSTRUCTION DU MODEL 3D.....	163

IV.3.1. La 3D comme outil de simulation	163
IV.3.2. Description du modèle 3D du quartier administratif	167
IV.4. CHOIX DU LOGICIEL DE SIMULATION : LE MODELE THERMO-RADIATIF DE SIMULATION <i>SOLENE</i>	169
IV.4.1. Généralités	170
IV.4.2. Les objets de Solene	171
IV.4.2.1. Le projet	172
IV.4.2.2. Les géométries	172
IV.4.2.2.1. Les ciels	173
IV.4.2.3. Les descripteurs	174
IV.4.2.3.1. Les matériaux	174
IV.4.2.4. Les fonctions	175
IV.4.3. Les simulations	175
IV.4.3.1. La simulation solaire	176
IV.4.4. Résumé des différentes étapes des simulations effectuées	177
IV.5. CONCLUSION	178

CHAPITRE 06

EVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE DE CAS D'ETUDE

V.1. INTRODUCTION	181
V.2. DEFINITION DES PARAMETRES GLOBAUX EN ENTREE POUR LES SIMULATIONS	181
V.2.1. Les paramètres d'environnement	182
V.2.2. Types de ciel	182
V.2.3. Affectation des matériaux	182
V.3. DEFINITION DES PERFORMANCES SOLAIRES GLOBALES DU CAS D'ETUDE	185
V.3.1. Informations utiles sur la géométrie cas d'étude	185
V.3.2. Définition des indicateurs de performance solaire	187
V.3.2.1. Calcul des seuils	188
V.3.2.1.1. Seuil d'énergie solaire pour les techniques solaires passives	188
V.3.2.1.2. Seuil d'énergie solaire pour l'intégration des systèmes PV sur les bâtiments.	189
V.3.2.1.3. Seuil d'éclairement pour les systèmes de lumière du jour	189
V.3.2.1.4. Seuil d'énergie solaire pour les collecteurs solaires actifs	189
V.3.2.2. Calcul de l'éclairement lumineux et de l'énergie solaire globale	190
V.3.2.2.1. L'énergie solaire globale	191
V.3.2.2.2. L'éclairement lumineux	193
V.3.2.2.3. Le facteur de lumière du jour	194
V.3.2.3. Calcul de viabilité de la forme urbaine	195
V.3.2.3.1. Viabilité des techniques solaires passives	197
V.3.2.3.2. Viabilité des systèmes de lumière du jour	198

V.3.2.3.3. Viabilité des systèmes PV sur les bâtiments.....	200
V.3.2.3.4. Viabilité des collecteurs solaires actifs	201
V.3.2.3.5. Discussion des résultats	202
V.4.CONCLUSION	203

CHAPITRE 07

OPTIMISATION DE LA FORME URBAINE DU CAS D'ETUDE

VI.1. INTRODUCTION	206
VI.2. PROCEDURE D'OPTIMISATION DE LA FORME URBAINE DU CAS D'ETUDE.....	206
VI.2.1. Effet de la forme et de la densité de bâtiments	207
VI.2.1.1. Présentation des résultats	207
VI.2.1.1.1. Viabilité des techniques solaires passives pour la forme en pavillons	207
VI.2.1.1.2. Viabilité des techniques solaires passives pour la forme en cour.....	208
VI.2.1.1.3. Viabilité des techniques solaires passives pour la forme en tours.....	209
VI.2.1.2. Discussion des résultats	211
VI.2.2. Effet de l'orientation et de l'inclinaison des toitures.....	212
VI.2.2.1. Présentation des résultats	212
VI.2.2.1.1. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour l'orientation est	212
VI.2.2.1.2. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour l'orientation sud-est.....	213
VI.2.2.1.3. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour l'orientation sud	214
VI.2.2.1.4. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour l'orientation sud-ouest.....	215
VI.2.2.1.5. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour l'orientation ouest.....	216
VI.2.2.2. Discussion des résultats	217
VI.2.3. Effet de l'exposition des façades (orientation des rues)	219
VI.2.3.1. Présentation des résultats	219
VI.2.3.1.1. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour l'exposition est.....	219
VI.2.3.1.2. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour l'exposition sud-est.....	220
VI.2.3.1.3. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour l'exposition sud	221
VI.2.3.1.4. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour l'exposition sud-ouest.....	222
VI.2.3.1.5. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour l'exposition Ouest.....	223

VI.2.3.2. Discussion des résultats	224
VI.2.4. Effet du rapport de la hauteur des bâtiments à la largeur des rues (H/W)	226
VI.2.4.1. Présentation des résultats	226
VI.2.4.1.1. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour un canyon (h/w=4)	226
VI.2.4.1.2. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour un dièdre (h/w=1)	227
VI.2.4.1.3. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour une rue dégagée (h/w=0.5)	228
VI.2.4.2. Discussion des résultats	229
VI.3. CONCLUSION.....	230
CONCLUSION GENERALE.....	234
Limite de recherche.....	240
Perspective de développement.....	241
BIBLIOGRAPHIE.....	243
ANNEXES.....	252

*À mes Parents,
Frères et Sœurs,
et Grande famille...*

Remerciements

A l'issue de la rédaction de cette recherche, je suis convaincu que le mémoire de magistère est loin d'être un travail solitaire. En effet, je n'aurais jamais pu réaliser ce travail sans le soutien d'un grand nombre de personnes dont la générosité, la bonne humeur et l'intérêt manifestés à l'égard de ma recherche m'ont permis de progresser dans mon apprentissage.

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de mémoire, le Pr. Noureddine Zemmouri, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant d'encadrer cette recherche, pour ses multiples conseils et pour toutes les heures qu'il a consacrées à diriger ce travail. J'aimerais également lui dire à quel point j'ai apprécié sa grande disponibilité et son respect sans faille des délais serrés de corrections des documents que je lui ai adressés. J'ai beaucoup appris à ses côtés et je lui adresse ma gratitude pour tout cela. Enfin, j'ai été extrêmement sensible à ses qualités humaines d'écoute et de compréhension tout au long de mon parcours de recherche.

Mes chaleureux remerciements vont également à Mr. Houda Saddok, pour son attention de tout instant sur mes travaux, pour son aide à l'installation et à la bonne maîtrise du logiciel de simulation, pour ses conseils avisés et son écoute qui ont été prépondérants pour la bonne réussite de la présente recherche, et aussi pour m'avoir fait l'honneur de participer au Jury de soutenance. Courage, Nous sommes de tout cœur avec vous monsieur, rétablissez vous le plus vite possible.

Je ne sais comment exprimer ma gratitude à ces deux personnes autrement qu'en leur promettant d'agir comme eux avec des étudiants dans ma situation, si un jour l'occasion m'en est donnée.

De même, je suis particulièrement reconnaissant à tous ceux sans qui cette recherche ne serait pas ce qu'elle est : aussi bien par les discussions que j'ai eu la chance d'avoir avec eux, leurs suggestions ou contributions. Je pense ici en particulier à mon collègue et frère Mr Oussama Gaoues (Merci surtout pour ton soutien moral), Pr Bourbiaa de l'université de Constantine (pour le logiciel que vous m'avez donné), Pr Compagnon de l'Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg (pour les documents que vous m'avez envoyé), toute l'équipe du bureau d'étude d'architecture et d'urbanisme Tafast Hacen, à qui la majorité du travail de la construction du modèle 3D est due, et tous les collègues de la promotion 2009-2010.

J'associe à ces remerciements Dr. Benabbas Moussadek, et Dr. Brima Abdelhafid de l'université de Biskra, Pr. Dib Belgacem de l'université de Batna, pour avoir accepté d'examiner mon travail.

ملخص

يهدف هذا البحث إلى التقصي حول ماهية الشكل العمراني الذي يتيح إمكانية الاستفادة المثلى من عوائد الطاقة الشمسية. بعبارة أخرى، إجراء دراسة مقارنة بين الشكل العمراني الميداني وهو جزء من الحي الإداري الجديد الواقع بمدينة باتنة (كحالة للدراسة) مع أشكال عمرانية نظرية أخرى من أجل معرفة التأثيرات المختلفة لخصائص الشكل العمراني على الإمكانيات الشمسية. كخطوة أولى، وبالاستعانة بأداة التصميم عن طريق الحاسوب "أوتوكاد"، تم إنجاز مجسم رقمي ثلاثي الأبعاد للشكل العمراني قيد الدراسة بهدف تحليله عن طريق برنامج المحاكاة الإشعاع-حراري "سولان". وقد سمحت لنا منهجية التقييم المعتمدة في هذا العمل والمبتكرة من طرف الأستاذ "كومبانيون" بتقييم قدرات التسخين الشمسي الطبيعي أو عن طريق استعمال لوحات الطاقة الشمسية، إنتاج الطاقة الكهربائية باللوحات الشمسية فضلا عن الإضاءة الطبيعية، التي تتمتع بها واجهات وأسطح المباني المدروسة. وقد أكدت جملة النتائج المتحصل عليها أن شكل المباني، توجيهها وطريقة تموضعها تؤثر بدرجة كبيرة على عائدات الطاقة الشمسية. من ناحية أخرى، أعطت الدراسة التقييمية المجراة على حالة الدراسة قيم دقيقة حول الطاقة الشمسية المتاحة والتي يمكن استغلالها في مختلف التقنيات التي تعتمد على الشمس كمورد أولي للطاقة. تجدون أيضا في هذه الدراسة، عديد النظريات، البرامج، التقنيات، المناهج والتوصيات المتعلقة بهذا الموضوع.

Résumé

Le présent mémoire de magistère a pour objectif la recherche de la forme urbaine qui extrême et maximise les gains solaires. Il s'agit de comparer une forme urbaine existante représentant le nouveau quartier administratif de la ville de Batna (cas d'étude) avec d'autres formes théoriques pour explorer les divers effets des caractéristiques de la géométrie urbaine sur le potentiel solaire. Dans un premier temps, le cas d'étude a été modélisé utilisant l'outil de CAO *AutoCad*, et analysé à l'aide du logiciel de simulation thermo-radiatif *Solene*. La méthode d'évaluation utilisée a été développée par le professeur Compagnon, elle nous a permis d'évaluer le potentiel du chauffage solaire actif et passif, la production d'électricité photovoltaïque ainsi que l'éclairage naturel en façade et en toiture des immeubles étudiés. Les résultats obtenus ont affirmé que la forme, l'orientation, et la disposition des bâtiments affectent considérablement le revenu de l'énergie solaire. L'évaluation effectuée sur le cas d'étude a permis d'approvisionner des valeurs concrètes sur le gisement solaire disponible, et les alternatives possibles d'intégrer les différentes stratégies solaires. Sont aussi présentés dans ce document les différentes théories, outils, techniques, méthodes, et recommandations se rapportant à ce thème.

Abstract

The present magistère dissertation aims at research of the urban fabric maximizing solar gains. It concerns the comparison between an existing urban form representing the new administrative district of Batna city (case of study) with other theoretical forms to check the various effects of the characteristics of the urban geometry on the solar potential. Firstly, the case study had been modeled using the CAD tool *AutoCad*, then analysed using the thermo-radiative software of simulation *Solene*. We used the evaluation method developed by professor Compagnon that allowed us to evaluate the potential for active and passive solar heating, electrical photovoltaic production and daylighting in façades and roofs of the studied buildings. The results obtained affirmed that the form, orientation, and the provision of buildings affect considerably the incomes of solar energy. The evaluation carried out on the case study supplied concrete values on the solar layer available, and the alternative possibilities of integrating the various solar strategies. In this document the various theories, tools, techniques, methods, and recommendations referring to this topic are also presented.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE1

Figure 1.1. Le dieu Râ : Homme à tête de faucon sur laquelle est posé le disque solaire protégé par le cobra dressé. ([en ligne] URL : http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%AA , page consulté le 11/12/2011)	14
Figure 1.2. L'axe principal du temple de Karnak avec la salle hypostyle à mi-chemin le long de l'axe. (Boubekri M ^{ed} , 2008, p.23).....	17
Figure 1.3. Intihuatana, le temple du soleil dédié au dieu soleil dans le quartier sacré de la ville de Machu Picchu. (Boubekri M ^{ed} , 2008, p.26).....	17
Figure 1.4. La ville troglodytique de Matmata, Tunisie. (Boubekri M ^{ed} , 2008, p.29)	17
Figure 1.5. Temple Rupestre bouddhique à Datong, Shanxi, en Chine. (Boubekri M ^{ed} , 2008, p. 32).....	17
Figure 1.6. Maison typique grec, la partie Sud inférieure à la partie Nord pour permettre l'accès à la lumière du soleil en hiver. (Boubekri M ^{ed} , 2008, p.25)	18
Figure 1.7. L'utilisation de l'énergie dans le marché mondial par type d'énergie, 1980-2030. (M ^{ed} . Boubekri, 2008, p. 39)	22
Figure 1.8. Ce que reçoit la terre du soleil. (A.Liébard, A.De Herde, 2005, p30).....	29
Figure 1.9. Quantité d'énergie solaire à la limite de l'atmosphère (en bleu) et à la surface de la terre (en rouge) [en ligne] URL : audience.cerma.archi.fr (consulté le : 11 juin 2012).....	30
Figure 1.10. Les différents types de ciel. (B. Paule, 2007).....	33
Figure 1.11. Exemple de design d'une habitation solaire passive. (David Funk, 2010, p12).....	36
Figure 1.12. Système de capteurs solaires et réservoir d'eau chaude. (David Funk, 2010, p19).....	37
Figure 1.13. Typologie de système solaire photovoltaïque. (Liébard, A. et De Herde, A., 2005, p).....	37

CHAPITRE2

Figure 2.1. Description simplifiée du plan orbital du système terre-soleil. (Liébard, De Herde, 2005, p1)	45
Figure 2.2. Trajectoires solaires apparentes en un point P sur la Terre. (Siret, 2007, p72).....	47
Figure 2.3. Coordonnées solaires (altitude et azimut du soleil). (Liébard, De Herde, 2005, p12).....	47
Figure 2.4. Définition de l'angle horaire solaire. (Szokolay, 2007, p6).....	47
Figure 2.5. Définition de la latitude géographique.(Szokolay, 2007, p5).....	49
Figure 2.6. Calcul de l'altitude du soleil utilisant un abaque solaire universel.(Miguet, Paule, 2010, p6)	51
Figure 2.7. Modes de projections utilisées pour réaliser des cartes du ciel. (Miguet, Paule, 2010, p7).....	52
Figure 2.8. Le Girasol (CRMAA 1979).(Siret, 2007, p 82)	55
Figure 2.9. Procédure d'évaluation de l'ensoleillement direct d'un site : superposition du diagramme solaire et de la photo fisheye. (CETE, 2005)	57
Figure 2.10. Tracé des ombres portées en dessin géométral.(Siret, 2007, p8)	59
Figure 2.11. Tracé des ombres à l'aide du diagramme solaire MT.(Siret, 2007, p87).....	59
Figure 2.12. Construction d'un masque sur le diagramme angulaire.(Siret, 2007, p89).....	60
Figure 2.13. Description schématique de l'héliodion du LESO-PB à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. (Miguet, Paule, 2010, p12)	61
Figure 2.14. Horizontoscope de Tonne.(Miguet, Paule, 2010, p14).....	61
Figure 2.15. Technique de synthèse d'image : Lancer de Rayons. (Site internet [en ligne] URL : http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_(graphics))	65

Figure 2.16. Le progrès de l'algorithme de radiosité. (Site internet [en ligne] URL http://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity_(computer_graphics))	67
--	----

CHAPITRE3

Figure 3.1. Garry Stevens. Pour une surface de site et incidence solaire données, le nombre de population augmente avec le nombre d'étages. (Montavon, 2010, p40).	77
Figure 3.2. Garry Stevens. Pour une incidence solaire et un nombre d'habitant par maison donnés, la taille du site diminue avec l'augmentation du nombre d'étages. (Montavon, 2010, p40).	77
Figure. 3.3. Garry Stevens. Pour une occupation au sol et une densité donnée, l'angle de l'incidence solaire diminue si le nombre d'étages de chaque bloc augmente. (Montavon, 2010, p40).	77
Figure 3.4. Formes génériques urbaines, utilisées par Martin et March et réutilisées par Steemers et al. (Ratti, 2003, p51).	78
Figure 3.5. DEMs (modèle d'élevation digital) des formes génétiques urbaines. (Carlo Ratti, et Al, 2003, p51)	78
Figure 3.6. Présentation graphique du facteur de vue de ciel (SVF) pour les six formes (Carlo Ratti, et Al, 2003, p52)	79
Figure 3.7. Définition des paramètres de la forme urbaine. δ : angle de grille d'azimut, hauteur de bâtiment, largeur: Lx, longueur: Ly, espacement entre bâtiments suivant l'axe x: Wx et y: Wy. (Marta, et Al, 2008, p889)	82
Figure 3.8. Image de scène générée utilisant Radiance (� gauche), schématique d'une vue de dessus (� droite) (Kämpf, Robinson, 2010)	82
Figure 3.9. Image de scène générée utilisant Radiance et schématique d'une vue de dessus (Kämpf, Robinson, 2010)	82
Figure 3.10. Un toit représenté en séries de Fourier et son tracé de contours. (Kämpf, Robinson, 2010)	82
Figure. 3.11. Types de formes urbaines et proportions de canyons urbains à Copenhague. (Andersena, Sattrupb, 2011, p2013)	89
Figure. 3.12. Radiation solaire moyenne par jour dans les canyons urbains calculée en ECOTECH. (Heures de travail : 8h-17h, écart de contours : 500-2500Wh, Weather data, Copenhague) (Andersena, Sattrupb, 2011, p2015).	89
Figure. 3.13. Eclairage annuel > 10,000 lx dans le canyon. Calculé dans RADIANCE/DAYSIM (Heures de travail : 8h-17h, écart de contours : 0-50%, Weather data, Copenhague). (Andersena, Sattrupb, 2011, p2016) .	89
Figure 3.14. Réaménagement héliothermique d'un quartier de Paris (Rey et al, 1928). (Daniel Siret, Amina Harzallah, 2006, p2)	94
Figure 3.15. Axe héliothermique. (M. Montavon, 2010)	94
Figures 3.16 & 3.17. L'effet de changement des ratios R1&R2 sur l'irradiation de l'enveloppe de la cour en été (sur la gauche) et en hiver (sur la droite). (Morad, Mohsen, 1979).	98
Figure 3.18. Location de l'irradiation maximale et minimale reçue sur les murs en été et en hiver. (Morad, Mohsen, 1979).	98
Figures 3.19& 3.20. Distribution de l'irradiation solaire des quatre murs de la cour, à gauche (en hiver) et à droite (en été). (Morad, Mohsen, 1979).	99
Figure 3.21. Formes optimales que prend la cour en hiver et en été. (Morad, Mohsen, 1979).	99
Figure 3.22. Les formes de cours étudiées (Muhaisen, 2006)	101
Figure 3.23. Changement d'orientation de la cour de 0� � 90�, dont 10� pour chaque étape. (Muhaisen, 2006)	101
Figure .3.24. Modulations morphologiques de la densité. (Allain. R, 2004, p121).	103
Figure.3.25. Ludwig Hilberseimer. Diagramme montre l'influence des toits de bâtiment sur la densité urbaine, afin de recevoir 4 heures de soleil le 21 décembre. (Montavon, 2010, p43)	103

Figure.3.26. Ludwig Hilberseimer. Arrangements de bâtiment selon diverses densités urbaines, ligne continue: latitude 51°30, ligne pointillée: latitude 42°.(<i>Montavon, 2010, p43</i>)	105
Figure. 3.27. Ludwig Hilberseimer. Diagramme montre la relation entre la latitude et la densité de population, A : latitude 55° Moscou, B : latitude 48° Paris et C : latitude 42° Chicago. (<i>Montavon, 2010, p43</i>)	105
Figure. 3.28. à droite : l'effet des bâtiments voisins sur l'accès solaire, à gauche : l'accès solaire pour différentes pentes et développement de densités. (<i>Achard, et Giquel, 1992, p156</i>)	105
Figure3.29. modèles génériques de la simulation. (<i>Cheng, et Al, 2006</i>)	106
Figure 3.30. Cheng : recommandations concernant la disposition, la hauteur et la densité des bâtiments (<i>Cheng, et Al, 2006</i>)	107
Figure 3.31. Nouvelle conception du cas d'étude.(<i>Cheng, et Al, 2006</i>)	107
Figure 3.32. Images Fish-eye et valeurs du SVF. (<i>Krüger, et Al, 2011</i>).	108
Figure 3.33. Facteur de forme : évolution pour différents types d'agrégation et dimensions d'un cube. (<i>Miguet, Paule, 2010</i>).	110
Figure 3.34. Carte d'occupation du sol. Une image en noir et blanc où le noir indique une zone construite et le blanc un espace ouvert. (<i>Nikolopoulou, 2004</i>)	111

CHAPITRE4

Figure.4.1. Décembre à 9heure am, une évaluation quantitative de l'ensoleillement de l'élévation sud de l'hotel Laguna. (<i>Yezioro, et Shaviv, 1994, p3</i>).	118
Figure.4.2. une présentation graphique des surfaces à l'ombre et celles ensoleillées calculées, à différentes heures en mois de décembre. (<i>Yezioro, et Shaviv, 1994, p3</i>).	118
Figure 4.3. Irradiation annuelle de la zone test de Meyrin (selon input MNS) en kWh/m ² /an. (<i>Faessler, 2010, p23</i> .)	120
Figure.4.4. Approche ICUE : Procédé pour déterminer la position du soleil sur la base de trajectoire annuelle du soleil. (Pas de temps de 15 minutes). (<i>Mardaljevic, et Rylatt, 2003, p28</i> .)	124
Figure.4.5. carte de l'irradiation solaire annuelle pour San Francisco (basée sur un model VRML) (<i>Mardaljevic, et Rylatt, 2003, p28</i> .)	124
Figure. 4.6. La relation entre les étapes de l'évaluation du potentiel solaire suivant l'approche Radiance (LESO-EPFL). (<i>Montavon, 2010, p64</i>).	127
Figure.4.7. distribution de l'énergie solaire globale (à gauche) et l'éclairement lumineux (à droite) pour la zone de Pérolles. (<i>Compagnon, 2000, p14</i>)	129
Figure.4.8. la rose d'orientation pour la zone de Pérolles montrant le SVF pondéré sur façades orientée vers chaque secteur d'azimut. (<i>Compagnon, 2000, p19</i>).	129
Figure. 4.9. visualisations du site de Pérolles. A gauche : l'énergie solaire globale annuelle Gi (colorée en rouge si Gi > Gpv_seuil, et en bleu si Gi < Gpv_seuil). A droite : l'énergie solaire directe horizontale dans la saison d'été au niveau des rues, colorée en rouge si elle dépasse 50% de l'éclairement direct horizontal dégagée, et en bleu si elle prend une valeur inférieure. (<i>Compagnon, 2000, p20</i>)	129
Figure.4.10. Les paramètres principaux des toitures étudiées. (<i>Auteur</i>)	142
Figure.4.11. La façade urbaine objet d'étude. (<i>Auteur</i>)	144
Figure.4.12. Les différentes expositions de façades choisies pour l'étude comparative. (<i>Auteur</i>)	144

CHAPITRE5

Figure 5.1. La situation géographique de la zone d'étude (<i>Guerbazi, Hamraoui, 2011</i>)	151
Figure 5.2. Site de la ville de Batna.(<i>Kalla, et Al, 2011</i>)	151
Figure 5.3. Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [en ligne] URL : http://anjoumadagascar.free.fr/projet_solaire.ht Consulté le 26 Mars 2013.	151

Figure 5.4. Fréquence mensuelle de chaque type de ciel pour la wilaya de Batna basé sur les pourcentages moyens des 22 ans (Juil 1983 - Juin 2005). [online] URL : http://eosweb.larc.nasa.gov/sse (Consulter le 22 février 2013).	152
Figure 5.5. Algérie : irradiation directe journalière reçue sur un plan horizontal en mois de Juillet. (Ubifrance, 2010, p1.)	154
Figure 5.6. L'irradiation globale en (w/m2) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000. [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)	154
Figure 5.7. L'illumination globale en (Klux) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000. [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)	154
Figure. 5.8. Quartiers et secteurs urbains de la ville de Batna. [En ligne] URL http://fr.wikipedia.org/wiki/Batna consulté le 28 Mars 2013(modifié par l'auteur)	156
Figure. 5.9. Délimitation de la zone d'étude. (Auteur).	159
Figure. 5.10. Contours de construction que présente la forme urbaine du quartier administratif. (Auteur).	161
Figure. 5.11. Le nouveau quartier administratif : bâtiments en forme de pavillons (unités séparés)	163
Figure. 5.12. Le nouveau quartier administratif : bâtiments en forme de bloc.	163
Figure. 5.13. Une partie du nouveau quartier administratif : forme de toitures.	163
Figure 5.14. Tore selon un modèle de cellules. (Pfund, 1999, p46).	166
Figure. 5.15. Construction d'une maison par CSG. Source : (Pfund, 1999, p47).	166
Figure 5.16. Modèle des limites: (a) objet modélisé (b) surfaces enveloppante (c) angles et arrêtes des surfaces. (Pfund, 1999, p47).	166
Figure. 5.17. Écran SOLENE : la fenêtre projet (l'ensemble des géométries), le contexte d'affichage ainsi que la fenêtre de visualisation dont la gestion est assurée par Open Inventor. (Miguet, 2000)	172
Figure.5.18. la géométrie ciel dans Solene : source d'énergie diffuse (Groleau, 2000, p4).	173
Figure.5.19. les différents types de résultats de simulations dans Solene. (Prianto, et Al, 2000, p165).	176

CHAPITRE 06

Figure 6.1. Fréquence mensuelle de chaque type de ciel pour la wilaya de Batna basé sur les pourcentages moyens des 22 ans (Juil 1983 - Juin 2005). [online] URL : http://eosweb.larc.nasa.gov/sse	183
Figures 6.2-6.3. Modélisation & configuration –dans Solene- des géométries ciels utilisés dans les simulations (à droite ciel clair type CIE utilisé dans les mois d'été, à gauche ciel couvert clair utilisé dans tous les autre mois).(Solene)	183
Figure 6.4. Fenêtre de configuration de base de matériaux utilisés dans Solene. (Solene)	184
Figures 6.5 ; 6.6. Représentation plane et tridimensionnelle de la partie de la forme urbaine du quartier administratif sélectionnée comme cas d'étude. (Auteur).	185
Figures 6.7 et 6.8. Vues sur la partie sélectionnée comme cas d'étude objet de la simulation. (À droite: la face Nord-Est, à gauche : la face Sud-Est. (Auteur).	186
Figures 6.9. Batna. Cité administrative. Orientation de la géométrie cas d'étude ([online] URL: http://www.wikimapia.org).	187
Figure 6.10. Calcul de l'angle solide sur une géométrie ciel de type claire durant la solstice d'été, calculé par Solene.	192
Figures 6.11 à 6.14. Gains en mois d'hiver d'énergie solaire globale avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'utilisation des techniques solaires passives. (Solene)	197
Figures de 6.15 à 6.18. Gains en mois d'hiver d'éclairage lumineux avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'intégration des systèmes de lumière de jour (Solene).	199
Figures 6.19 à 6.21. Gains d'énergie solaire globale avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'intégration des systèmes solaires photovoltaïque (Solene).	200
Figures 6.22 à 6.24. Gains d'énergie solaire globale avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'intégration des collecteurs solaires actifs. (Solene)	201

CHAPITRE 07

Figures de 7.1 à 7.4. Forme urbaine en pavillons : Les gains d'énergie solaire globale durant les mois d'hiver avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'utilisation des techniques solaires passives (<i>Solene</i>).....	208
Figures de 7.5 à 7.8. Forme urbaine en cour : Les gains d'énergie solaire globale durant les mois d'hiver avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'utilisation des techniques solaires passives. (<i>Solene</i>).....	209
Figures de 7.9 à 7.12. Forme urbaine en tours : Les gains d'énergie solaire globale durant les mois d'hiver avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'utilisation des techniques solaires passives. (<i>Solene</i>).....	210
Figures de 7.13 à 7.15. Les gains d'énergie solaire globale annuelle pour les toitures orientées « Est », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour les techniques solaires active et photovoltaïque. (<i>Solene</i>).....	212
Figures de 7.16 à 7.18. Les gains d'énergie solaire globale annuelle pour les toitures orientées « Sud-est », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour les techniques solaires active et photovoltaïque. (<i>Solene</i>).....	213
Figures de 7.19 à 7.21. Les gains d'énergie solaire globale annuelle pour les toitures orientées « Sud », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour les techniques solaires active et photovoltaïque. (<i>Solene</i>).....	214
Figures de 7.22 à 7.24. Les gains d'énergie solaire globale annuelle pour les toitures orientées « Sud-ouest », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour les techniques solaires active et photovoltaïque. (<i>Solene</i>).....	215
Figures de 7.25 à 7.27. Les gains d'énergie solaire globale annuelle pour les toitures orientées « Ouest », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour les techniques solaires active et photovoltaïque. (<i>Solene</i>).....	216
Figures de 7.28 à 7.30. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades orientées « est », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils. (<i>Solene</i>).....	219
Figures de 7.31 à 7.33. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades orientées « sud-est », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils. (<i>Solene</i>).....	220
Figures de 7.34 à 7.36. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades orientées « sud », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils. (<i>Solene</i>).....	221
Figures de 7.37 à 7.39. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades orientées « sud-ouest », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils. (<i>Solene</i>).....	222
Figures de 7.40 à 7.42. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades orientées « Ouest », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils.	223
Figures de 7.43 à 7.45. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades sud dont H/W= 4, avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils.	226
Figures de 7.46 à 7.48. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades sud dont H/W= 1, avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils. (<i>Solene</i>).....	227
Figures de 7.49 à 7.51. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades sud dont H/W= 0.5, avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils. (<i>Solene</i>).....	228

LISTE DES TABLEAUX

Introduction générale

Tableau 1. Ensoleillement reçu annuellement en Algérie par région (*Harouadi et Al, 2007*)5

Chapitre 01

Tableau 1.1. Soleil Dieux et Déesses à travers l'histoire. (*Site internet [enligne]*
<http://ancienthistory.about.com/od/sungodsgoddesses/a/070809sungods.htm> (page consulté le 21/07/2012) 14

Chapitre 03

Tableau 3.1. Neuf types de forme de base de bâtiments et leurs caractéristiques. (*Kristl, Krainer, 2001*)80

Tableau 3.2. Les paramètres principaux des formes urbaines étudiées (*Okeil, 2004*).80

Tableau 3.3. Cas d'études (*Marta , et Al, 2008, p 889*)83

Tableau 3.4. Les différentes classes de rues suivant la valeur de (h/w) . (*Auteur*)85

Tableau 3.5. Différentes théories de largeur de rue (*Montavon, 2010*)86

Tableau 3.6. Liste chronologique des auteurs de différentes théories d'orientation des rues. (*Montavon, 2010*)90

Tableau 3.7. Instigateurs des cours ouvertes et bâtiments 'redans'. (*Montavon, 2010*).96

Tableau 3.8. Recommandataires et opposants des cours closes. (*Montavon, 2010*).96

Tableau 3.9. Ratios optimales et les surfaces de murs ensoleillées et ombragées qui leurs correspondent (*Muhaisen, 2006*)100

Tableau 3.10. Sommaire des cas étudiés. (*Cheng, et Al, 2006*)106

Tableau 3.11. Synthèse des indicateurs morphologiques déterminants. (*Ouameur, 2007, p29*)108

Chapitre 04

Tableau 4.1. Résumé des différents tests effectués (zone test Meyrin). (*Faessler, 2010, p28*).120

Tableau 4.2. Récapitulatif des valeurs de seuils proposés. (*Auteur*).137

Tableau 4.3. Effet de la forme et de la densité bâtie : les paramètres principaux des formes urbaines étudiées. (*Auteur*).142

Tableau 4.4. Les différentes classes de rues étudiées [suivant la valeur de (h/w)]. (*Auteur*).146

Chapitre 06

Tableau 6.1. Les caractéristiques thermiques, solaires et lumineuses des matériaux choisis. [*Online*] URL : <http://www-energie2.arch.ucl.ac.be>).184

Tableau 6.2. Informations globales sur la géométrie de cas d'étude. (*Auteur*).186

Tableau 6.3. Surface des faces de l'enveloppe de la géométrie de cas d'étude par orientation. (*Auteur*). ...187

Tableau 6.4. Récapitulatif des valeurs de seuils proposés. (*Auteur*).190

Tableau 6.5. Les luminances et les radiances solaires moyennes en provenance de ciel pour l'enveloppe du projet cas d'étude calculé par <i>Solene</i> . (<i>Auteur</i>).	191
Tableau 6.6. Calcul d'indicateur de performance solaire « techniques solaires passives ». (<i>Auteur</i>).	197
Tableau 6.7. Calcul d'indicateur de performance solaire « techniques de lumière de jour ». (<i>Auteur</i>).	198
Tableau 6.8. Calcul d'indicateur de performance solaire « systèmes solaires photovoltaïques ». (<i>Auteur</i>).	200
Tableau 6.9. Calcul d'indicateur de performance solaire « collecteurs solaires actifs ». (<i>Auteur</i>).	201
Tableau 6.10. Résultats en pourcentage des surfaces de l'enveloppe du cas d'étude disponibles pour l'exploitation d'énergie solaire. (<i>Auteur</i>).	204

Chapitre 07

Tableau 7.1. Viabilité des techniques solaires passives pour la forme en pavillons. (<i>Auteur</i>).	207
Tableau 7.2. Viabilité des techniques solaires passives pour la forme en cour. (<i>Auteur</i>).	208
Tableau 7.3. Viabilité des techniques solaires passives pour la forme en cour. (<i>Auteur</i>).	209
Tableau 7.4. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour les toitures orientées vers l'est. (<i>Auteur</i>).	212
Tableau 7.5. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour les toitures orientées vers le sud-est. (<i>Auteur</i>).	213
Tableau 7.6. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour les toitures orientées vers le sud. (<i>Auteur</i>).	214
Tableau 7.7. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour les toitures orientées vers le sud-ouest. (<i>Auteur</i>).	215
Tableau 7.8. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour les toitures orientées vers l'ouest. (<i>Auteur</i>).	216
Tableau 7.9. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades orientées vers l'est. (<i>Auteur</i>).	219
Tableau 7.10. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades orientées vers le sud-est. (<i>Auteur</i>).	220
Tableau 7.11. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades orientées vers le sud. (<i>Auteur</i>).	221
Tableau 7.12. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades orientées vers le sud-ouest. (<i>Auteur</i>).	222
Tableau 7.13. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades orientées vers l'ouest. (<i>Auteur</i>).	223
Tableau 7.14. Récapitulatif des résultats de la viabilité solaire passive et celle de la lumière du jour pour les différentes orientations étudiées. (<i>Auteur</i>).	224
Tableau 7.15. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades sud de la forme « canyon ». (<i>Auteur</i>).	226
Tableau 7.16. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades sud de la forme « dièdre ». (<i>Auteur</i>).	227
Tableau 7.17 : Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades sud de la forme « dégagé ». (<i>Auteur</i>).	228
Tableau 7.18. Récapitulatif des résultats de la viabilité solaire passive et celle de la lumière du jour pour les différentes valeurs du rapport H/W. (<i>Auteur</i>).	229

LISTE DES SCHEMAS

Schéma 1.1. Les applications de l'énergie solaire (<i>David Funk, 2010, p32</i>)	35
Schéma 1.2. Les bénéfices de l'éclairage naturel dans les bâtiments (<i>David Funk, 2010, p29</i>)	40
Schéma 4.1. La structure générale de l'outil. Les composants qui ont été développés spécifiquement pour le projet PRECis apparaissent en gris. Les flèches indiquent les flux de données entre les différents modules. Radiance est utilisée comme machine de calcul à trois endroits. (<i>Compagnon, 2000, p9</i>).	127
Schéma 4.2. procédé adapté pour le calcul des valeurs saisonnières et annuelles de l'éclairement et de l'énergie solaire globale utilisant le logiciel Solene. (<i>Auteur</i>).	134
Schéma 4.3. procédure d'évaluation du potentiel solaire. (<i>Auteur</i>).	138
Schéma 4.4. schéma illustratif des caractères de la forme urbaine, à optimiser. (<i>Auteur</i>).	140
Schéma 4.5. Procédure d'évaluation retenue. (<i>Auteur</i>).	147
Schéma 4.6. Procédure d'optimisation retenue. (<i>Auteur</i>).	148
Schéma 6.1 : Batna. Cité administrative. Orientation de la géométrie cas d'étude(<i>Auteur</i>).	187

LISTE DES GRAPHES

Graphe 5.1. Sectorisation de la ville de Batna. [<i>En ligne</i>] URL http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ographie_de_Batna . Consulté le 28 Mars 2013.	156
Graphe 6.2. Luminance moyenne en provenance du ciel pour les deux types de ciel choisis et durant les solstices d'été, d'hiver et de printemps calculé par Solene (<i>Auteur</i>).	192
Graphe 6.3. Radiance solaire moyenne en provenance du ciel pour les deux types de ciel choisis et durant les solstices d'été, d'hiver et de printemps calculé par Solene (<i>Auteur</i>).	192
Graphe 6.4. Les moyennes mensuelles d'énergie solaire globale incidente sur l'enveloppe de la géométrie. (<i>Auteur</i>).	193
Graphe 6.5. Les moyennes mensuelles d'éclairement lumineux direct en provenance du ciel. (<i>Auteur</i>). ..	193
Graphe 6.6. Valeurs moyennes mensuelles des facteurs de lumière du jour extérieur que représente la forme urbaine calculées par Solene. (<i>Auteur</i>).	194
Graphe 6.7. Les moyennes annuelles des facteurs de lumière du jour extérieurs pour les toitures et les façades calculé par Solene(<i>Auteur</i>).	195
Graphe 7.1. Impact de la forme des bâtiments sur la viabilité solaire passive. (<i>Auteur</i>).	210
Graphe 7.2. Récapitulatif des résultats d'énergie solaire moyenne annuelle pour les différentes orientations et inclinaisons de toitures. (<i>Auteur</i>).	217
Graphe 7.3. Récapitulatif des résultats de la viabilité solaire passive et celle de la lumière du jour pour les différentes orientations étudiées. (<i>Auteur</i>).	224
Graphe 7.4. Récapitulatif des résultats de la viabilité solaire passive et celle de la lumière du jour pour les différentes valeurs du rapport H/W. (<i>Auteur</i>).	229

*« Le soleil : celui sans lequel les choses
ne seraient ce qu'elles sont ». Cécile Horel.*

INTRODUCTION GENERALE

« *Le future de nos villes dépend
de nos actions, aujourd'hui* ».
(*Jenks et Dempsey, 2005*)

INTRODUCTION GENERALE

Contexte général

Les traces laissées par nos prédécesseurs montrent que la prise en compte du soleil dans l'architecture est un thème très ancien (*F.Miguet, B.Paule, 2010*). Le soleil donc a souvent été pour l'homme une source d'attraction bien particulière. De nombreuses civilisations l'ont vénéré, la majorité des cultures ayant admis son rôle significatif dans le cycle de la vie. En 1974, Knowles cherchait dans ses premières études les traces de l'accès au soleil dans les sociétés anciennes. Il a terminé avec des preuves concrètes des effets du soleil dans leurs pratiques de construction (*B.Topaloğlu, 2003*). Ceci dit, une relation directe a été construite entre le soleil et la qualité de vie humaine.

Le soleil en particulier a réchauffé l'habitat humain pendant plus d'un million d'années, depuis que l'homme a cherché un abri, et il est resté un facteur primordial dans la conception des habitations. Dès les âges agricoles, les gens ont non seulement sculpté l'architecture en fonction de leurs besoins de sécurité, mais aussi ils ont pris conscience des bienfaits énergétiques, lumineuses, et esthétiques du soleil. Ils ont creusé des ouvertures et des cours pour optimiser l'exposition solaire et profiter de la chaleur, la fraîcheur et de l'ombre. A l'époque, le soleil était la principale source de la lumière, de chauffage, et une source essentielle de confort et de bien-être (*M^{ed}. Boubekri, 2008*).

Les grecs et les romains ont appliqués plusieurs principes de conception solaire. Ils ont lancé l'idée de la législation des zones solaires, et pendant des siècles, Les écrits de Vitruve ont influencés les architectes. Il indique l'importance, pour les Romains, du groupement des pièces par rapport au soleil et leur répartition autour d'une cour à l'aide d'un diagramme tracé au sol. Plus tard, les planificateurs durant la révolution industrielle ont proposé plusieurs actions pour améliorer la qualité de vie dans les villes. Ils ont pris conscience de l'importance de la lumière et l'ensoleillement en générale dans la santé humaine.

De nos jours, Le caractère de la ville avait changé radicalement, elle a incluse plusieurs nouvelles fonctions et activité, et elle devient un espace vivant qui ne cesse jamais de se

développer et de s'agrandir aussi (*Jenks et Dempsey, 2005*). Parallèlement, l'homme devient plus en plus habitant urbain. A ce propos, Joel Cohen (*dans Montavon, 2010*) déclare que le monde est obligé de construire une ville d'un million d'habitants chaque semaine durant les 43 prochaines années afin d'absorber la croissance de la population urbaine. Cette théorie est accentuée par les statistiques livrées par la banque mondiale qui affirment qu'une hausse de 20% de la population vivait dans des zones urbaines est marquée durant les 60 dernière années. Ils prévoient aussi que 61% de la population mondiale va être urbaine d'ici à 2030. Paradoxalement, le potentiel de l'utilisation des ressources solaire est réduit en milieu urbain en raison d'obstacles vers le ciel et le soleil (la densité de la ville est à la hausse). Il est donc important que la disponibilité spatiale des ressources solaires soit étudiée afin d'identifier des stratégies d'utilisation appropriée.

Faces à ces changements, ajoutant l'événement de la crise énergétique en 1973 qui a mené à l'économisassions de l'énergie fossile, la notion du développement durable à pris place dans toutes les politiques de développement et dans tous les centres de décision. Elle se diffuse au sein des différentes disciplines et domaines de notre société. En matière d'aménagement comme d'urbanisme, le développement durable conduit vers la mise en œuvre de formes et de fonctionnements urbains *moins insoutenables* (*Raffaud, 2003*), il conduit à des nouvelles réflexions et pratiques urbaines dont le point en commun est celui de la grande volonté de réduire la consommation nette d'énergie spécialement dans les bâtiments. Ceci peut être réalisé en deux façons : soit par la réduction de la consommation d'énergie fossile, soit par l'utilisation des technologies de conversion énergétique renouvelable. A cet effet, la position du soleil dans l'architecture et l'urbanisme a été complètement redéfini, car, l'énergie solaire en particulier présente une réponse directe.

En conséquence, plusieurs recherches ont été lancées pour élargir le champ d'application de cette ressource gratuite. Dans le domaine de l'architecture, la vision a été portée vers la création de nouvelles méthodes de conception dont l'enseillement est un élément indispensable dès la phase de conception, le développement des techniques d'éclairage naturel, de refroidissement et réchauffement passif, et de l'intégration de nouvelles technologies solaires (collecteurs thermiques, photovoltaïques) dans les bâtiments. Dans le milieu urbain, c'est plutôt de rechercher la configuration urbaine qui sera capable de résoudre le problème suivant: créer un microclimat confortable avec une consommation énergétique minimale.

Problématique et enjeux:

L'énergie depuis le commencement des âges a été le moteur de l'activité humaine, et c'est un élément qui intervient dans tous les actes quotidiens de l'homme. Les besoins en énergie de toutes sortes sont en croissance partout sur la planète, et les questions de la disponibilité et du coût des énergies fossiles devenant problématiques. L'Algérie ne fait pas exception à cette règle en présentant une hausse de la consommation énergétique d'environ 82% entre 1980 et 2007 ⁽¹⁾. C'est le secteur résidentiel et tertiaire qui domine cette consommation, il est de l'ordre de 45,7%, suivi du secteur des transports de 27,8%, et ensuite industriel de 26,8%. À l'heure actuelle, l'Algérien nécessite annuellement environ 2 tonnes d'équivalent pétrole (tep) pour répondre à ses besoins énergétiques, ce qui fait de lui l'un des consommateurs importants d'énergie au monde.

La consommation d'électricité a augmenté de 1980 à 2005 avec un rythme soutenu d'environ 15%. A l'heure actuelle, l'électricité produite en Algérie n'arrive pas à couvrir l'évolution rapide de la consommation, et la distribution de l'électricité connaît depuis quelques années de fortes perturbations du fait d'une augmentation croissante de la demande intérieure. Les coupures d'électricité constatées surtout durant la saison d'été où la consommation atteint ses valeurs maximales due à l'usage multiplié des climatiseurs dans les bâtiments est une bonne preuve. Cependant, le même phénomène se produit pour la consommation gazière, ainsi que pour tous les autres combustibles fossiles.

Paradoxalement, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du bassin méditerranéen de part sa situation privilégiée. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara (voir le tableau 1). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2263 kwh/m²/an au Sud du pays. Le total d'énergie reçue est estimé à 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle du pays (*Aprue, 2010*). En effet, des opportunités exceptionnelles se présentent au niveau de toutes les régions du pays pour exploiter le gigantesque gisement d'énergie solaire disponible, que pour le chauffage passif, l'éclairage naturel, les collecteurs thermiques, photovoltaïques, et même pour la climatisation.

¹ Statistiques de la Banque mondiale, indicateurs de développement dans le monde.

Régions climatique	Littoral	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau 1: Ensoleillement reçu annuellement en Algérie par région.
Source : (Harouadi et Al, 2007).

Suite à ces capacités, un programme national de développement des énergies renouvelables a été tracé pour la période 2011-2030, ambitionnant, à terme, de produire 40% de la consommation nationale d'électricité à partir des filières solaire et éolien.

Une plus grande exploitation de l'énorme potentiel qu'offre le rayonnement solaire permettrait d'accentuer davantage ce leadership. En effet, les nombreuses applications de l'énergie solaire, particulièrement dans le domaine du bâtiment, ne sont pas bien adaptées au contexte urbain algérien, malgré que la quantité d'énergie que le soleil envoie vers la terre, soit 10.000 fois plus grande que la quantité totale d'énergie consommée à l'échelle de la planète. De plus, le taux de rayonnement reçu dans le sud algérien est beaucoup plus élevé que la moyenne mondiale, soit environ 1 500 kWh par mètre carré par année.

Du point de vue architectural, l'architecture bioclimatique insiste sur l'optimisation de la relation bâtiments/climat. Son principal but est d'exploiter les effets bénéfiques du climat, spécialement ceux liés au captage du soleil en hiver tout en offrant une protection contre les effets négatifs. C'est une conception consciente de l'énergie ; et qui place l'occupant et son confort au centre de ses préoccupations. Pour atteindre des objectifs similaires, le développement durable considère le modèle de la ville compacte comme souhaitable. Toutefois, la densité que représente ce modèle met des surfaces importantes de l'ensemble urbain à l'ombre, ajoutant l'invisibilité produite par les nombreux obstacles existants.

Poser la question de l'ensoleillement en urbanisme revient à se demander comment capter le soleil au niveau du quartier urbain, donc comment éviter les ombres portées et les masques dans l'implantation des constructions. Le bon sens, bien sûr, va permettre de nous dire – par observation et simulation à l'aide d'un logiciel numérique – ce que va être la forme urbaine qui profite le plus de l'énergie solaire. La présente étude va donc se porter sur la prédiction et l'optimisation de la forme urbaine pour améliorer le rendement des principaux modes de captage directe du rayonnement solaire que se soit passif ou actif. Elle s'inscrit aussi dans le contexte de la maîtrise de villes algériennes contemporaines qui

connaissent une croissance très rapide notamment celles de l'intérieur du pays en l'image de la ville de Batna.

Objectifs :

Le contrôle du rayonnement solaire est lié à la géométrie urbaine produite et traitée par quelques acteurs du secteur de bâtiment, on parle des architectes, ingénieurs et urbanistes sans oublier « la société » qui est l'acteur principal de l'architecture "*sans architecte*". Si on veut vraiment préserver l'environnement naturel et gérer au même temps les problèmes liés à la progression rapide du tissu urbain, il est essentiel de démontrer les possibilités existantes pour construire des villes plus compactes qui sont guidés au même temps par les principes du développement durable spécialement celui du droit à l'ensoleillement.

Les progrès technologiques, accomplis en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments (économie d'énergie, utilisation des énergies renouvelables), ne peuvent toutefois pas être transposés sans difficultés au cadre urbain : la haute densité d'occupation du sol, les contraintes urbanistiques (règlements de construction) et socio-culturelles (sauvegarde du patrimoine) obligent à prendre en compte certaines conditions spécifiques de ce contexte. Celles-ci tendent a priori à réduire les possibilités d'utilisation directe de l'énergie solaire (ombres portées, orientation inadéquate des façades et toitures, etc.).

Durant la phase de conception d'une zone urbaine, le concepteur traite différentes caractéristiques géométriques liées à l'orientation et dimensions des rues, forme et taille des bâtiments...etc. Cette tâche plutôt complexe peut conduire à une décision qui va fortement influencer le droit à l'ensoleillement. Les nouveaux bâtiments peuvent réduire l'accès de la lumière du jour à l'intérieur des locaux et mettre à l'ombre des voisinages existants et compromettre sérieusement leur performance énergétique.

Ce projet de recherche vise à promouvoir une architecture urbaine respectueuse des principes du développement durable. Il s'agit ainsi de permettre une meilleure utilisation directe de l'énergie solaire dans l'environnement urbain: incluant le solaire thermique passif, le solaire thermique actif, le solaire photovoltaïque et l'éclairage naturel dans un site urbain représentatif de villes algériennes. Dans cet essai, et en un premier temps, on va chercher à démontrer qu'il est techniquement faisable, écologiquement souhaitable, économiquement rentable et socialement acceptable de développer la filière de l'énergie solaire en Algérie et d'ajouter cette filière aux autres sources d'énergie renouvelables.

Il s'agit ainsi d'évaluer le potentiel d'énergie solaire et d'éclairage naturel dans un environnement urbain (un quartier dans la ville de Batna). Autrement dit, on va produire des informations concrètes sur les performances solaires globales que notre forme initiale du cas d'étude peut garantir et exploiter afin de soutenir des stratégies pour améliorer les performances environnementales des bâtiments considérés. Cela implique un décri de bâtiments et leurs enveloppes, sur des échelles de district et de la rue et cela signifie aussi que les formes en trois dimensions des bâtiments et des groupes de construction, ainsi que les espaces ouverts doivent être prises en compte.

Dans un essai de répondre toujours à la question d'amélioration du rendement de potentiel solaire, notre recherche vise à étudier les effets que peut produire les propriétés de la forme urbaine sur le potentiel solaire dans les zones urbaines. Il s'agit d'une comparaison de différentes formes existantes et imaginaires dans le but de décider des configurations urbaines nouvelles respectueuses aux principes du développement durable. Aussi, apporter des recommandations aidant les concepteurs à décider une disposition urbaine qui assure un maximum de gain solaire et extrême la performance environnementale. Le but est de permettre aux concepteurs de produire des bâtiments confortables d'un rendement optimum, dans un contexte urbain qui réduit au minimum la consommation d'énergie et les effets de la pollution.

A cet effet, on a adapté une méthode d'évaluation et de détermination du potentiel solaire développée par le professeur Compagnon, à l'aide d'une combinaison de quatre outils : AutoCad et SketchUp, deux outils de conception assisté par ordinateur pour modéliser la forme urbaine et changer l'extension du modèle obtenu afin de l'exporter vers le logiciel de simulation Solene, et un autre outil de calcul Excel pour effectuer quelques opérations complémentaire. Cette approche est utilisée dans plusieurs recherches ainsi que certains projets urbains.

Hypothèse :

Dans un essai de répondre aux problèmes cités précédemment, la présente étude propose l'hypothèse suivante :

La forme urbaine peut améliorer considérablement le revenu de l'énergie solaire.

Afin de répondre à la question d'amélioration du rendement de potentiel solaire, cette hypothèse nous propose de chercher les meilleures configurations sur la base de deux

paramètres clés dès la phase de « conception » : le premier est géométrique, qui concerne la configuration formelle des constructions et le deuxième est morphologique, en relation avec le site lui-même, on parle d'orientation, d'implantation et de situation vis-à-vis l'espace immédiat que se soit naturel ou construit.

Méthodologie et Approche :

Le présent projet d'étude sera développé en deux principales parties, afin d'arriver à une conclusion qui confirme ou infirme l'hypothèse de départ présentée ci-dessus. La première partie traite des aspects théoriques du sujet; dans la seconde partie on abordera les procédures d'évaluation et d'optimisation, objet de notre recherche. Dans cette dernière, on prendra connaissance du cas d'étude ainsi que les différentes étapes de l'optimisation, qui va se baser sur une simulation numérique d'un modèle en 3D. Le présent manuscrit est ainsi constitué de sept chapitres, définis comme suit:

Chapitre 01 :

Va tracer l'interface de l'homme avec le soleil et l'environnement à travers l'histoire, parfois sur un niveau mystique ou religieux et d'autrefois plus concrètement en stratégies constructives, législations, structures établies, problèmes et solutions...etc. le but est d'accentuer quelques concepts, qui ont émergé avant que la crise énergétique soit placée dans le centre de la sensibilité environnementale, des issues telles que l'hygiène et le bioclimatique. Ensuite, la signification de l'accès solaire, sera soulignée afin de réussir à conserver les ressources et améliorer la qualité de vie. En outre, le soleil sera analysé du point de vue des ambiances, des implications, et comme source d'énergie.

Chapitres 02 :

Vise à définir le rapport géométrique entre la terre et le soleil afin de déterminer l'emplacement du soleil à chaque heure de l'année. Parvenir à des questions de l'ordre de la recherche de durée d'ensoleillement d'un site donné, ou de quantité d'énergie solaire et de lumière reçu sur une facette d'enveloppe en déterminant les outils (méthodes, instruments, logiciels, etc.) qui ont été proposés dans le domaine de la simulation solaire pour l'architecture et l'aménagement urbain. Différencier les outils de simulation en graphiques, analogiques et numériques, et essayer de les analysés profondément en donnant des exemples et en dégagant des avantages et des inconvénients pour chaque méthode.

Chapitre 03 :

On va en premier lieu définir la forme urbaine et ses caractéristiques physiques qui détermineront le bilan d'énergie solaire local afin de bien comprendre leur contribution comme solution passive dans la réduction de la consommation énergétique. Le chapitre dans ses parties d'état de l'art va se référer rigoureusement au travail de Ph.D. de Dr. Amina Harzallah cité par Dr. Marylène Montavon (*Montavon, 2010*) dont elle résume les orateurs qui ont développé des théories urbaines et architecturales au sujet des préconisations solaires entre 1753 et 1954.

Chapitre 04 :

Ce chapitre fournit un petit aperçu sur quelques outils et méthodes appliquées par les chercheurs afin d'évaluer et de quantifier le potentiel solaire des façades et toitures situées dans les zones urbaines. Il s'agit dans un premier temps de définir et expliquer sommairement ces méthodes, ensuite donner une description plus détaillée de l'approche retenue, avec une désignation des instruments d'analyse utilisés et les différentes étapes suivies. Enfin, prendre un positionnement épistémologique et justifier un choix du modèle d'analyse.

Chapitres 05 :

Dans ce chapitre, on va essayer à travers l'observation et l'analyse descriptif des quartiers de la wilaya de Batna, ainsi que quelques critères, de choisir un quartier dont on va appliquer les procédures d'évaluation et d'optimisation. Le quartier sera décrit formellement dans le but d'extraire ses caractéristiques géométriques. Ces derniers vont être utilisés dans la construction du modèle 3D du quartier. Dans une deuxième étape, le chapitre concentrera sur la description des techniques de modélisation 3D qui ont été choisies pour la création du modèle numérique de la forme urbaine objet d'étude. On terminera ce chapitre par une présentation de l'outil de simulation Solene. On va expliquer d'abord les raisons qui nous ont conduits vers l'utilisation de ce logiciel. Ensuite, décrire sommairement ses principaux aspects, et notamment sa structure générale.

Chapitre 06 :

Ce chapitre a pour objectif l'évaluation du potentiel solaire au niveau de la géométrie du cas d'étude. Il contient les résultats issus des différentes simulations effectuées sur le modèle numérique du quartier représentant la ville de Batna. En d'autres termes, le chapitre vise à quantifier le rendement énergétique et celui de la lumière naturelle des

façades et des toitures de la géométrie étudiée. Le but est d'estimer la quantité d'énergie disponible et l'emplacement approprié pour les technologies solaires suivantes :

- les systèmes actif et passif de chauffage.
- la production de l'électricité photovoltaïque.
- les systèmes de l'éclairage naturel.

Chapitre 07 :

Sera consacré à une étude utilisant la technique de simulation, qui vise la vérification de notre hypothèse sur le terrain. Autrement dit, une observation des effets de la forme urbaine sur le revenu de l'énergie solaire et la qualité lumineuse de l'environnement intérieur. Il s'agit d'une discussion des résultats obtenus, conclue en proposant quelques recommandations pour une meilleure maîtrise de la forme urbaine conduisant à extrémiser les apports solaire et respecter les principes du développement durable. Enfin, suggérer des domaines d'application et des différentes directions pour un développement ultérieur de cette étude.

Chapitre 01,

Comprendre le soleil : Établir un

background conceptuel

I.1. INTRODUCTION :

Les traces laissées par nos prédécesseurs montrent que la prise en compte du soleil dans l'architecture est un thème très ancien. (*F.Miguet, B.Paule, 2010*). Le soleil donc a souvent été pour l'homme une source d'attraction bien particulière. De nombreuses civilisations l'ont vénéré, la majorité des cultures ayant admis son rôle significatif dans le cycle de la vie. (*S. Bellara, 2005*).

Dans la première partie de ce chapitre, on va essayer de tracer, à travers l'histoire, notre interface avec le soleil et l'environnement, parfois sur un niveau mystique ou religieux et d'autrefois plus concrètement en stratégies constructives, législations, structures établies, problèmes et solutions...etc. D'autre part, un but de cet aperçu historique est d'accentuer quelques concepts, qui ont émergé avant que la crise énergétique soit placée dans le centre de la sensibilité environnementale, des issues telles que l'hygiène et le bioclimatique.

Après la brève histoire du rôle du soleil dans l'histoire architecturale, il est préférable de placer désormais l'accès solaire dans les débats architecturaux quotidiens. La signification de l'accès solaire, sera soulignée afin de réussir à conserver les ressources et améliorer la qualité de vie. En outre, le soleil sera analysé du point de vue des ambiances et des implications. Nous allons montrer l'aspect transversal de l'ensoleillement dans la pratique architecturale et les relations organiques existantes entre formes du projet et intentions d'ensoleillement dans le processus de conception.

A la fin de ce chapitre, le soleil sera analysé comme source d'énergie, de lumière et comme un élément essentiel d'amélioration de qualité de vie. Le potentiel de l'utilisation judicieuse de l'énergie solaire sera mis en exercices à travers différentes méthodes et technologies. Cette partie va fournir plusieurs informations générales concernant les spécifications de l'énergie solaire et son exploitation potentielle. Soit le solaire thermique passif, le solaire thermique actif, le solaire photovoltaïque et l'éclairage naturel.

I.2. L'IDEE DE L'ACCES SOLAIRE DANS L'ENVIRONNEMENT BATI :

L'histoire de l'architecture à travers les différentes civilisations prouve que les êtres humains ont appliqué des principes solaires en fonction de leurs propres contextes environnementaux et géographiques et selon leurs propres connaissances et systèmes de croyance (*M. Boubekri, 2008*). En 1974, Knowles cherchait dans ses premières études les traces de l'accès au soleil dans les sociétés anciennes. Il est arrivé à déterminer des preuves concrètes des effets du soleil dans leurs pratiques de construction. (*B.Topaloğlu, 2003*) Ceci dit, une relation directe a été construite entre le soleil et la qualité de la vie humaine. Précepte qui va être discuté dans cette partie afin de comprendre le rôle que joue le soleil dans la perception de l'environnement tout au long de l'histoire. En outre, on va déceler les avantages de l'utilisation préhistorique et antique et l'importance de soleil, compte tenu des valeurs phénoménologiques, psychologiques et visuelles qui vont être discutées par la suite.

I.2.1. Histoire du soleil dans l'architecture et le planning urbain :

Notre interface avec le soleil et l'environnement naturel peut être retracé à travers l'histoire, parfois sur un plan mystique ou religieux, et parfois de façon plus concrète dans les murs de pierre et les constructions. Les traces laissées par nos prédécesseurs montrent que la prise en compte du soleil dans l'architecture est un thème très ancien. Cependant, d'une manière ou d'une autre, nous avons fait usage du soleil depuis le début de l'existence de l'homme. (*M^{ed}. Boubekri, 2008*).

I.2.1.1. Le soleil dieu :

Les nombreux points de lumière qui remplissent le ciel ont toujours mystifié les êtres humains en stimulant les sentiments d'émerveillement et de révérence. Plusieurs anciennes civilisations comme il est montré dans le tableau 1.1, ont considéré le soleil comme un objet d'adoration et est dotée d'une personnalité quand il n'était pas connu comme une source de lumière ou de chaleur. La préhistoire est riche de symboles solaires : En Egypte par exemple, Le dieu-soleil appelait *Râ* (voir la figure 1.1) était le chef suprême de toute la création (*Quirke, 2001 dans M^{ed}. Boubekri, 2008*). Le Pharaon était sa progéniture et son représentant sur terre. Les anciens Egyptiens croyaient que chaque nuit, le dieu du soleil se rendit sur une *barque du soir* dans les entrailles de la terre pour combattre le mal, émergé triomphalement chaque matin à l'Est apportant la chaleur et la lumière. Pendant le règne

<i>Nom</i>	<i>Nationalité/Religion</i>	<i>Dieu ou quoi ?</i>	<i>Remarques</i>
Amaterasu	Japon	Déesse du soleil	
Arinna (Hebat)	Hittite (syrienne)	Déesse du soleil	L'iconographie de la religion dans le Hittite, louvite, et royaumes araméens
Apollon	Grèce et de Rome	Soleil dieu	
Freyr	Norrois	Soleil dieu	C'est le dieu de la fertilité associé au soleil
Garuda	Hindou	Oiseau de dieu	
Hélios (Helios)	Grèce	Soleil dieu	avant qu'Apollon soit le dieu-soleil, Hélios occupait ce poste.
Hepa	Hittite	Déesse du soleil	L'épouse de dieu météo, elle a été assimilée à la déesse du soleil Arinna.
Huitzilopochtli (Uitzilopochtli)	Aztec	Soleil dieu	
Inti	Inca	Soleil dieu	
Liza	Afrique de l'Ouest	Soleil dieu	
Lugh	Celtique	Soleil dieu	
Mithra	Perse	Soleil dieu	
Rê (Râ)	Egypte	Soleil dieu	Un dieu égyptien représenté par un disque solaire. Centre de culte était Héliopolis. Plus tard, associé à Horus comme Rê-Horakhty et avec Amon aussi, le dieu créateur solaire.
Shemesh / Shepesh	Ougarit	Déesse du soleil	Femme divinités solaires
Sol (Sunna)	Norrois	Déesse du soleil	Elle monte dans un char solaire tiré par des chevaux.
Sol Invictus	Romain	Soleil dieu	Le soleil invaincu. Un tardif dieu soleil romain.
Surya	Hindou	Soleil dieu	monte au ciel dans un char tiré par des chevaux.
Tonatiuh	Aztec	Soleil dieu	
Utu (Shamash)	La Mésopotamie	Soleil dieu	

Tableau 1.1. Soleil Dieux et Déeses à travers l'histoire.

Source : (Site internet [en ligne] <http://ancienthistory.about.com/od/sungodsgoddesses/a/070809sungods.htm> (page consulté le 21/07/2012)

Figure 1.1. Le dieu Râ : Homme à tête de faucon sur laquelle est posé le disque solaire protégé par le cobra dressé.

Source : ([en ligne] URL :

<http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%AA> page consulté le 11/12/2011).



d'Akhenaton, les rayons solaires sont devenus le symbole de la croyance monothéiste appelé *atonisme*. (B.Topaloglu, 2003). Pour les Hittites¹, le soleil a été l'un des deux importants dieux avec celui de l'orage. Ils représentaient le soleil avec des disques qui sont considérés comme le symbole de leur civilisation.

Le peuple japonais ne fait pas à règle de croyance, il se considère comme venant du soleil, c'est pourquoi ils appellent leur empereur : *son of sun* « fils du soleil ». (Hançerlioğlu, 1993, dans B.Topaloglu, 2003, p.7).

Les croyances religieuses liées au soleil ont influencé l'urbanisme et l'architecture des anciennes villes égyptiennes. La ville pharaonique d'*Iounou*, visé par les Grecs comme *Héliopolis* ou « la ville du soleil » est un très bon exemple, Peu de choses sont connues aujourd'hui sur cette ville, mais son nom apparaît dans la littérature religieuse pharaonique plus fréquemment que celui de n'importe quelle autre ville égyptienne antique. Un deuxième exemple plus concret est celui des temples égyptiens comme *Karnak*, situé sur la rive orientale du Nil, il est connu comme le temple du solstice solaire. Son implantation était complètement entraînée par le mouvement du soleil. Karnak avait des alignements spéciaux que correspondait aux solstices d'été et d'hiver, le levé de soleil au solstice d'hiver apparaît à l'Est sur la route de l'axe du temple célébrant le dieu-soleil Râ à travers ses majestueuses piliers (figures 1.2) (*M^{ed}*. Boubekri, 2008).

La mythologie indienne explique la création de la terre par le soleil. Selon cette croyance, il n'y avait au début que le soleil qui nageait dans l'espace. La terre est produite par le désir de vivre existait dans le soleil. En outre, les Mayas croient que tous les dieux viennent du soleil et c'est lui qui a créé le premier *Inca Manco Paca*, et sa sœur sur l'île du Soleil. Puis, il leur a demandé d'enseigner les manières civilisées de vie aux autres indiens qui vivaient dans « l'obscurité et l'ignorance ». Les Incas célébraient le solstice d'été, ils ont créé la fameuse « cité perdue des Incas » appelée *Machu Picchu* à 2430 m d'altitude, dont les murs principalement orientée vers l'Est et le Sud pour capter et stocker la chaleur. Le Temple du Soleil (figure 1.3), connu sous le nom d'*Intihuatana*, a été consacré à la déesse la plus vénérée et la plus grande, le dieu soleil.

¹ « Les **Hittites** sont un peuple ayant vécu dans l'Anatolie au II^e millénaire av. J.-C. Ils doivent leur nom à la région à partir de laquelle ils ont établi leur royaume principal, le Hatti, situé en Anatolie centrale autour de leur capitale, Hattusa. À partir de la seconde moitié du XVII^e siècle av. J.-C., les rois du Hatti construisent un des plus puissants royaumes du Moyen-Orient, dominant l'Anatolie jusqu'aux alentours de 1200 av. J.-C., et ils réussissent à partir du XIV^e siècle av. J.-C. à faire passer la majeure partie de la Syrie sous leur coupe. Cela les a mis en rivalité avec d'autres royaumes puissants du Moyen-Orient : l'Égypte, le Mitanni et l'Assyrie ». (Site internet [en ligne] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Hittites> page consulté le 11/12/2011).

I.2.1.2. Les âges agricoles :

Toutes les agglomérations urbaines dans l'ère préhistorique partagent une dépendance d'une interaction claire entre l'activité humaine et la nature. Le soleil en particulier a réchauffé l'habitat humain pendant plus d'un million d'années, depuis que l'homme a cherché un abri et il est resté un facteur primordial dans la conception des habitations. Qu'il s'agisse des villes troglodytiques tels que ceux de Matmata en Tunisie (figure 1.4) ou à Xian en Chine, les collines de la ville espagnole de Guadix, les habitations troglodytes dans le pays Dogon au Mali, les communautés de grottes souterraines de la Cappadoce en Turquie ou encore les temples rupestres des grottes de Yungang construites par les missionnaires bouddhistes à Datong dans la province de Shanxi en Chine (figure 1.5), l'homme a non seulement sculpté l'architecture en fonction de ses besoins de sécurité, mais aussi pour être en harmonie avec l'environnement dans lequel ils vivaient. Son prise de conscience des bienfaits du soleil était omniprésente. Il a creusé des ouvertures et des cours pour optimiser l'exposition solaire et profiter de la chaleur, la fraîcheur et de l'ombre. Pour beaucoup de ces communautés, le soleil était la principale source de chauffage et une source essentielle de confort et de bien-être (*M^{ed}. Boubekri, 2008*).

Dans une autre partie du monde, une compréhension similaire des avantages de l'environnement naturel peut être trouvée dans l'architecture grecque antique. Le respect pour le soleil et ses pouvoirs lumineux est une caractéristique visible dans l'architecture des habitations et lieux de cultes grecs. Certains ont crédité Socrate avec l'invention de la première maison solaire, mais il est plus probable que ce qu'il était vraiment décrit dans ses écrits était un mégaron² bien orienté (*B. Topaloğlu, 2003*). Les principes de conception solaire transcendent la vénération symbolique pour le soleil dans les édifices religieux de la Grèce classique. Ils ont généralement orienté la façade de leurs temples vers l'Est. En d'autres temps, les cérémonies religieuses importantes ont eu lieu dans la partie orientale du temple, qui a été éclairée par les rayons matinaux du soleil.

J. Walter Graham (1972) (*dans M^{ed}. Boubekri, 2008*), convient que l'accès à la lumière du soleil dans cette époque était une préoccupation pratique qui dépasse les strates économiques et sociales. Le soleil était abondant, le bois était rare, et les riches et les pauvres se sont appuyés sur le soleil pour chauffer leurs maisons. Une maison typique

² Mégaron était la définition de type de construction de base grec.



Figure 1.2



Figure 1.3

Figure 1.2. L'axe principal du temple de Karnak avec la salle hypostyle à mi-chemin le long de l'axe.

Figure 1.3. *Intihuatana*, le temple du soleil dédié au dieu soleil dans le quartier sacré de la ville de *Machu Picchu*.

Figure 1.4. La ville troglodytique de Matmata, Tunisie



Figure 1.5. Temple Rupestre bouddhique à Datong, Shanxi, en Chine.

Source des figures 1.2-1.5 : (Boubekri M^{ed}, 2008, p.23-32).





Figure 1.6. Maison typique grec, la partie Sud inférieure à la partie Nord pour permettre l'accès à la lumière du soleil en hiver.

Source : (Boubekri M^{ed}, 2008, p.25).

avait une section sud, occupée surtout en hiver, et une au nord pour être utilisée pendant les mois chauds d'été. La partie sud devait être plus basse que la partie nord pour permettre l'accès solaire dans la partie intérieure de la cour centrale (Figure 1.6).

En général, la différence entre les Grecs et les autres civilisations anciennes est leur capacité à systématiser les connaissances héritées de manière à créer une fondation pour les sociétés à venir. Leur modèle sphérique est l'exemple le plus concret. A propos, Francis MIGUET écrit : « *Dominé par les éléments naturels, l'homme préscientifique les a déifiés afin de se les concilier par la prière, et nombreuses sont les civilisations anciennes qui ont donné au Soleil une place essentielle, sinon première, dans leur mythologie. Avec l'émergence de la philosophie grecque et de son anthropocentrisme, ce modèle théologique, à Terre plate en forme de disque ou de table, disparaît. Le soleil n'est plus qu'un être matériel comme les autres astres, et leurs mouvements seront bientôt régis par ceux de sphères ou de cercles emboîtés, modèle bien adapté à la récurrence périodique de la position des astres* » (F. Miguet, B. Paule., 2010,p.2)

Les Romains exposent aussi une sensibilité similaire vers le soleil. Après qu'ils ont accepté le christianisme, les icônes de la nature ont perdu leur importance religieuse. Mais cette fois, l'utilisation de la lumière dans l'architecture séculière pour créer des espaces saints est devenue un symbole de maîtrise (B. Topaloğlu, 2003). Quand il s'agit de principes de conception solaire, les Romains les ont appliqués, tout comme les Grecs l'avaient fait. De

plus, ils ont lancé l'idée de la législation des zones solaires : des lois pour protéger l'accès des citoyens à la lumière du soleil. Ils sont connus pour être pionnier dans la technologie de montage de fenêtres en verre, dont ils se servaient pour capturer et retenir la chaleur solaire pour chauffer leurs maisons, leurs salles de bains, et leurs serres où ils cultivaient des plantes, des fleurs, des fruits et légumes.

Pendant des siècles, Les écrits de Vitruve ont influencés les architectes. Il indique l'importance, pour les Romains, du groupement des pièces par rapport au soleil et leur répartition autour d'une cour à l'aide d'un diagramme tracé au sol. Dans 'Les dix livres de l'architecture de Vitruve' (Morgan, 1914), il écrivait: «*Les bâtiments doivent être soigneusement enfermés plutôt que exposée vers le Nord, et la partie principale doit faire face au côté Sud chaud* » (dans *M^{ed}. Boubekri, 2008, p.22-23*).

I.2.1.3. La révolution industrielle et l'âge moderne :

Au cours de la moitié du XVIIIe siècle, l'Europe occidentale est témoin d'énormes changements économiques et sociaux. Cette époque appelée *la révolution industrielle* est marquée par l'exode vers les centres urbains en raison de chercher à travailler dans les usines. Par conséquent, les demandes de logements ont connu un accroissement remarquable. Les immigrants ont trouvé refuge dans des bâtiments de forte densité avec des égouts ouvert et qui ont offert une exposition insuffisante au soleil. Ces conditions de vie déplorable conduit à des flambées de choléra, de typhus, de rachitisme, de tuberculose et d'autres fléaux mortels. Le manque d'ensoleillement dans les habitations a été noté comme un facteur aggravant (*M^{ed}. Boubekri, 2008*).

Pour faire face à ces problèmes, de nouvelles approches urbaines apparient. Les réformateurs et les planificateurs ont lancé plusieurs actions³ pour amener l'air frais et le soleil dans les bidonvilles qui entachèrent les villes européennes. En 1875, Benjamin W. Richardson a publié des plans pour la ville utopique qu'il a appelé *Hygeia*, « une ville de la santé ». Ses plans obligent l'intégration des espaces verts et l'accès à la lumière du soleil. Une autre proposition est venue en 1898 ; Ebenezer Howard a créé sa ville nouvelle « Cités-Jardins », une ville de taille limitée, planifier à l'avance et entourée d'une ceinture

³ La commission *Poor Law* (1834-1847) est un exemple de ces actions, c'était un organisme composait de trois commissaires, leur secrétaire et neuf greffiers. La commission était indépendante du parlement, Les commissaires ont travaillé sur tous le territoire de l'Angleterre pour effectuer des inspections et renvoyer des rapports sur l'assistance aux pauvres dans diverses paroisses.

permanente de terres agricoles. Mais il fallait attendre jusqu'au début de 20^{ème} siècle pour que les décideurs prennent conscience de l'importance de la lumière dans la vie des populations lorsque le Dr Niels Finson en 1903 a prouvé que la lumière du soleil peut guérir la tuberculose. (Boubekri, 2008). William Atkinson est le premier architecte qui a produit des idées pour créer des espaces avec la lumière du soleil, après ses études sur l'architecture hospitalière. Il a mentionné l'orientation solaire et la lumière du soleil pour des raisons d'hygiène qui vont être des concepts clé dans la mise en place de la discipline de conception bioclimatique. En 1904, il a mené à la première documentée *sun rights* "droits de soleil" la législation qui limite la hauteur des bâtiments pour l'accès la lumière du soleil. Dans la même période, F.L. Wright et son prédécesseur Richardson ont prit le climat, le vent, le soleil, et l'orientation dans la conception architecturale vernaculaire (*Topaloğlu, 2003*).

La première moitié du 20^{ème} siècle a connu la naissance d'un nouveau mouvement qui a embrassé la modernité et a rejeté les anciennes façons de concevoir. Les bâtiments pourraient maintenant être construits avec de longues portées et de grandes ouvertures grâce au progrès technologique et aux recherches avancées sur les matériaux de construction. Ces innovations ont permis aux architectes d'adopter une nouvelle architecture. *Le mouvement moderne* est devenu populaire après la Seconde Guerre mondiale par le biais des travaux du CIAM⁴ (Congrès International de l'Architecture Moderne) dont les principes et les théories sur l'orientation et l'ensoleillement sont des avantages non négociable. Le Corbusier, l'un des architectes fondateurs du Mouvement Moderne a déclaré qu'outre les trois dimensions physiques de n'importe quel bâtiment, une quatrième existait, à savoir la nature. Cette dimension introduit l'air frais, et la lumière du soleil (Boubekri, 2008).

La simplicité et la clarté de l'idéologie du Mouvement moderne et la prise de conscience de l'importance de l'ensoleillement et la lumière naturelle dans l'architecture peut être trouvé dans le travail de plusieurs architectes. Parmi ceux qui méritent d'être mentionné, Hugo Haring (*Topaloğlu, 2003*,) un des fondateurs du CIAM qui à attirer l'attention avec ses

⁴ Les congrès internationaux d'architecture moderne sont nés du besoin de promouvoir une architecture et un urbanisme fonctionnels. La première rencontre eut lieu en 1928, à La Sarraz (Suisse), et Le Corbusier y joua un rôle important. Le 10e et dernier congrès "officiel" des CIAM eut lieu à Dubrovnik en 1956. Mais c'est en 1959, à Otterlo, aux Pays-Bas, que certains membres décidèrent de mettre fin à ces congrès. Certains d'entre eux ont poursuivi les réunions sous la dénomination Team 10. (Site internet [en ligne] http://fr.wikipedia.org/wiki/Congr%C3%A8s_international_d'architecture_moderne page consulté le 08/08/2012).

maisons solaires, les frères Keck (*Watson 1998, dans Topaloğlu, 2003,*) les premiers à professer leur conception solaire dont ils développent le chauffage passif, Gropius et Breuer (*Watson 1998 dans Topaloğlu, 2003,*) qui ont donné évidence au soleil dans leurs pratiques de conception, les frères Olgay (*Watson 1998, dans Topaloğlu, 2003,*) avec leur approche à l'énergie solaire appelée : *Corbu with members* , ils ont entrepris la conception architecturale avec les outils de la climatologie, Alvar Aalto (*Watson 1998, dans Topaloğlu, 2003*), Richard Neutra, Frank Loyd Wright et Mies van der Rohe (*Boubekri, 2008*) pour leur magnifique modélisation et élégant usage de la lumière naturelle.

Parallèlement à ces nouveaux travaux était l'avènement des lampes électriques à incandescence et fluorescentes à la fin du 21^{ème} siècle. Les architectes ont alors été invités à s'appuyer de plus en plus sur la lumière artificielle pour la conception de l'éclairage. L'économie de structure encourage l'abaissement des plafonds, ce qui réduit le volume du bâtiment à chauffer ou à refroidir, mais aussi de réduire la pénétration de la lumière du jour. De nombreux professionnels du bâtiment ont même soutenu que la lumière du jour était un luxe que pouvaient être négligés tant que les lampes pourraient fournir suffisamment de lumière. La lumière naturelle a été complètement abandonnée et une nouvelle typologie de bâtiments apparus, c'est la naissance des grands bâtiments avec des plans profonds et des hauteurs d'étages bas et des centres urbains extrêmement surpeuplés. Les canyons urbains reçoivent peu de lumière naturelle durant l'année et illustrent le type d'urbanisation qui a pris de l'envergure durant le XXe siècle, et se poursuit aujourd'hui.

I.2.1.4. La crise de l'énergie :

En 1973, le monde se trouvait face à une crise énergétique qui a redéfini la place du soleil dans l'architecture et l'urbanisme. La vie publique et la distribution de la population ont été changées radicalement à cause de l'accumulation de la population dans les villes. L'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, et charbon) pour produire l'électricité devient problématique. L'architecture dite solaire représente une réponse directe à la crise pétrolière, et sa popularité s'est développée vers la fin des années 70. Des principes de conception solaires passifs ont été bientôt adaptés aux climats, car les nouvelles technologies ont émergé et un savoir-faire s'était développé.

La crise a développé une politique d'économie de l'énergie et l'utilisation des sources nouvelles renouvelables telles que l'énergie solaire. Toutefois, l'échelle d'application reste malheureusement très réduite. Comme l'illustre la figure 1.7, l'utilisation mondiale projetée de toutes les sources d'énergie augmente jusqu'à 2030. Les combustibles fossiles continueront à assurer une grande partie de l'énergie utilisée dans le monde entier, mais les projections indiquent aussi que l'utilisation de l'énergie renouvelable prendra l'essor.

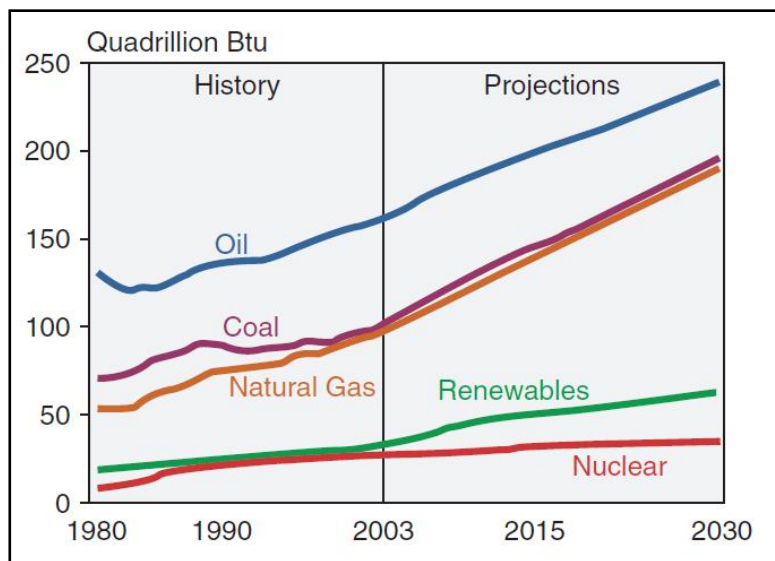


Figure. 1.7. L'utilisation de l'énergie dans le marché mondial par type d'énergie, 1980-2030.

Source : M^{ed}. Boubekri, 2008, p. 39

En dépit des appels courants pour des économies d'énergie, la technologie solaire est rarement employée comme stratégie significative pour réduire la consommation d'énergie en raison des taux de coût d'investissement élevés des entreprises d'installation de cette technologie. Les décideurs sont concernés principalement par la réduction des taux d'investissement dans les installations de production de l'électricité plutôt que la consommation totale. Le fait est que les appels pour des économies d'énergie n'ont pas sensiblement influencé la pratique architecturale. Les architectes et les ingénieurs préfèrent compter sur l'appareillage électrique, mécanique et électronique pour illuminer, ventiler, refroidir ou chauffer les bâtiments plutôt que chercher des matériaux et des dispositions de construction qui tirent profit de ce que la nature doit offrir. Les bâtiments verts ou respectueux de l'environnement demeurent une nouveauté dans le monde architectural, des sujets d'études de cas ou des objets exposés dans les musées jusqu'au début des années 90,

là où on commence à toucher les soucis environnementaux tels que les émissions de gaz et le réchauffement global, et on démontre scientifiquement son impact négatif sur la santé et le bien-être des occupants de bâtiment.

Le soleil donc, est considéré comme fournisseur de la lumière et de la chaleur et même encore il influence la santé humaine. Il fournit une lumière de forte intensité qui aide à maintenir les rythmes du corps, il facilite la synthèse de la vitamine 'D' et peut même tuer des microbes. Le soleil peut fondre le gel, la glace et la neige en hiver et dessèche la terre. Les rayons solaires sont essentiels pour la croissance de plantes et elles sont indispensables pour plusieurs activités comme prendre un bain de soleil, nager ou sécher des vêtements. Mais aussi, il a une valeur importante dans le monde de l'architecture, que ce soit dans la configuration urbaine ou architecturale, à l'intérieur ou à l'extérieur, le soleil peut signifier beaucoup de choses que nous allons tenter de préciser par la suite.

I.2.2. Signification et importance de l'accès au soleil en architecture :

Après la brève introduction du rôle du soleil dans l'histoire architecturale, il est préférable de placer désormais l'accès solaire dans les débats architecturaux quotidiens. En outre, le soleil sera analysé comme source d'énergie, de lumière et comme un élément essentiel d'amélioration de qualité de vie.

Les interactions entre les bâtiments et les rayons solaires définissent une caractéristique de l'environnement urbain. L'ensevelissement par sa nature est un phénomène dynamique. La forme urbaine, en particulier son ampleur verticale amplifie ce phénomène par la progression des ombres et tâches solaires. Cette dynamique est perçue par notre peau comme de la chaleur et par notre vue comme de la lumière, du point de vue des ambiances (Inc, 1996).

« Des raisons plus fondamentales font de l'ensevelissement un phénomène transversal des ambiances architecturales et urbaines, par ses implications à la fois énergétiques, lumineuses et plastiques. La prise en compte de l'ensevelissement dans le projet apparaît donc essentielle à la qualité future de la construction. Dans une perspective complémentaire, nous pouvons considérer que les intentions d'ensevelissement formulées dans le processus de conception couvrent un large spectre d'intentions d'ambiance : lumineuses, énergétiques ou esthétiques. L'ensevelissement apparaît de ce point de vue comme un « catalyseur » des ambiances du projet » (D. Siret, 1997, p 40).

La nature géométrique de l'ensoleillement a plusieurs implications importantes. La suite de cette partie détaille les différentes facettes de l'ensoleillement, du point de vue du projet architectural. Nous montrons l'aspect transversal de l'ensoleillement dans la pratique architecturale et les relations organiques existant entre formes du projet et intentions d'ensoleillement dans le processus de conception.

I.2.2.1. La performance énergétique :

Comme source d'énergie, l'ensoleillement est le facteur climatique dont il faut tirer parti. En effet il compense partiellement les déperditions thermiques du bâtiment, et d'autant plus que la conception de celui-ci est judicieuse. L'énergie solaire disponible est exprimée par l'éclairement énergétique⁵ ou par l'exposition énergétique⁶.

Le soleil - le gisement solaire – fournit une énergie naturelle et gratuite ; elle répond donc aux exigences environnementales et économiques de nos sociétés. Le rayonnement solaire pénétrant dans une pièce permet de générer plus aisément l'apport énergétique. Il crée environ 0,5 kW/m² de gains de chaleur. Un bureau de 25m² avec 6m² de vitrage reçoit 3kW d'énergie, environ 5 fois plus que les gains de chaleur de 3 occupants et 3 PCs (*N. Baker et K. Steemers, 2005*). Ne se réduisant pas à la chaleur uniquement, cette énergie peut être appréhendée de différentes manières. La seule observation d'une surface ensoleillée suffit à apprécier ce flux d'énergie. A l'inverse, la fraîcheur de l'ombre ne sera appréciée en été que par le contraste qu'elle offre avec la chaleur du soleil (*R. Gonzalo, K.J. Habermann, 2006*). Cependant, le passage de l'extérieur à l'intérieur est moins perceptible dans le cas d'un mur exposé au soleil. La chaleur du soleil traverse les surfaces extérieures transparentes ou translucides et frappe la paroi intérieure. Ce phénomène ne peut pas se constater de l'intérieur ni être associé à un quelconque effet spatial précis.

Les taches d'ensoleillement peuvent être considérées comme des sources locales d'énergie, positives en taches de soleil ou négatives en taches d'ombre. « *L'énergie fournie par une tache de soleil dépend de sa surface, de l'angle d'incidence du rayon solaire instantané en chaque point, du temps d'exposition au soleil et du matériau exposé (transmission, réflexion et absorption). Par le croisement de ces éléments, la dynamique de l'ensoleillement induit donc une dynamique énergétique complexe de notre environnement* » (*D. Siret, 1997, p 41*).

⁵ L'éclairement énergétique est le flux énergétique solaire reçu par unité de surface: il s'exprime en W/m².

⁶ L'exposition énergétique est la quantité d'énergie reçue par unité de surface: c'est le produit de l'éclairement énergétique par la durée d'irradiation. Il s'exprime en J/cm² ou en Wh/m².

Une bonne conception exploite le potentiel de gain solaire passif par la considération de la surface vitrée, de la masse thermique et de l'orientation. L'architecture solaire ou bioclimatique des années 70 est un bon exemple. Elle a apporté une nouvelle dimension aux implications énergétiques de l'ensoleillement dans la construction. Leur approche a conduit à redécouvrir certaines solutions traditionnelles visant à capter l'énergie solaire disponible en hiver tout en se protégeant des effets solaires d'été. Ils ont compris que l'énergie solaire permet de couvrir une partie importante des besoins même en tenant compte de ses propres limites (*D. Siret, 1997*).

D'autre part, un rayon solaire est une source renouvelable gratuite pour les technologies solaires actives incluent les deux catégories de système de conversion de l'énergie solaire, à conversion thermique, où l'énergie solaire reçue par le plan du collecteur est entièrement transformée en énergie calorifique, et à conversion électrique dit aussi système photovoltaïque, où l'énergie solaire collectée sur le plan du récepteur est transformée sous forme d'électricité. Parmi les capteurs solaires thermiques, et suivant la nature du fluide caloporteur en circulation utilisé pour véhiculer l'énergie calorifique récupérée, on cite les capteurs solaires plans à gaz (à air) et à liquide (à eau) (*A. Moumami, 2009*). À partir de la chaleur du soleil, on peut encore produire l'énergie thermodynamique (la vapeur), laquelle sera transformée à une action mécanique. En outre, avec l'augmentation de la disponibilité de tels systèmes et coûts croissants de carburants conventionnels, leur viabilité économique s'améliore solidement (*site internet*)⁷.

I.2.2.2. La performance lumineuse :

La lumière naturelle, appelée aussi lumière du jour, correspond à l'éclairage direct ou indirect provenant d'une source primaire, le soleil, et des sources secondaires, les différentes couches de l'atmosphère (nuages, polluants...) ainsi que les éléments de la surface terrestre. Cette lumière blanche possède un spectre complet et continu, c'est-à-dire qu'elle émet dans toutes les longueurs d'onde du spectre visible. Associée à sa source principale, le soleil, la lumière est indissociable de la vie (*M. Goujet, 2007*). En outre, l'éclairage naturel est soumis à des variations quantitatives et qualitatives constantes: par les nuages, la situation géographique, l'orientation, la saison et l'heure du jour. La disposition des fenêtres, la profondeur et la géométrie du local, la couleur des murs et du

⁷ Site internet [En ligne] URL <http://www.maxisciences.com/%E9nergie-solaire>, consulté le 23/12/2012.

plafond ainsi que l'ameublement sont des éléments qui influencent directement la distribution de la lumière naturelle. (F. Miguet, B. Paule, 2010).

L'ensoleillement produit donc des taches à la fois sources d'énergie et sources d'éclairage. Les effets énergétiques de l'ensoleillement dépendent de la totalité du spectre du rayonnement solaire (englobant les rayonnements infrarouge, visible et ultraviolet). En outre, les effets lumineux ne dépendent, eux, que de la partie visible de ce spectre. Fondamentalement, l'éclairage naturel interroge notre système de perception visuelle⁸.

Le XXème siècle marque le triomphe de la lumière dans les théories architecturales : La réflexion architecturale porte donc son attention sur la maîtrise d'un éclairage naturel adapté en prenant en compte la consommation énergétique, le confort des occupants et la valorisation de l'espace. C'est le « *transport* » de la lumière qui doit désormais être maîtrisé, ce qui suppose de capter, conduire puis distribuer la lumière (GIF, 2012). De nos jours, le potentiel de l'éclairage naturel revient au devant de la scène avec le retour aux ressources naturelles et aux constructions bioclimatiques. La lumière naturelle offre un confort et un bien être qui sont au centre des exigences actuelles en matière d'habitat et son utilisation devient de plus en plus source de créativité et d'innovation.

L'intérêt de la lumière naturelle pour la performance qualitative du bâtiment et le bien-être de ses occupants s'impose progressivement comme une évidence. « *La lumière naturelle participe de manière importante au confort visuel. La qualité de la lumière naturelle est, en effet, souvent meilleure que celle de la lumière artificielle, ainsi que le rendu des couleurs qui a une influence positive pour la détection des défauts, l'amélioration de la qualité et de la sécurité. La lumière naturelle permet également de conserver un contact avec l'extérieur ce qui, tout en permettant de diminuer les contraintes physiques et psychologique, présente un intérêt pour les économies d'énergie* » (fiche pratique de sécurité, 2000, p1).

Marine GOUJET (Goujet, 2007) note que la lumière solaire fait aussi lien entre l'Homme, le Temps et l'Espace. Elle est l'élément premier qui permet à toute espèce animale de percevoir l'écoulement du temps. L'homme prend d'ailleurs dans son système de décompte du temps le cycle jour/nuit comme unité, et attribue à chaque phase, lumière et

⁸ (Architecture et lumière, [En ligne] URL <http://www.crdp-montpellier.fr/themadoc/Architecture/ArchitectureImp.htm>, consulté le 24/12/2012)

obscurité, douze heures par jour, et douze mois par an, la lumière change d'orientation, d'intensité et de qualité. Aussi, il est évident déclare-t-elle que le spectre lumineux du soleil aide l'homme à percevoir l'espace, puisque la lumière lui est indispensable pour qu'il soit en mesure de voir ce qui l'entour. (M.Goujet, 2007)

I.2.2.3.La performance esthétique :

« *Simplement par le contrôle de la quantité de lumière, on peut changer le sens d'un espace* » (T. Ando, cité par M. Goujet, 2007, p30). Cette déclaration du grand architecte japonais dénonce comment le changement de l'orientation ou de la quantité de la lumière peut changer radicalement la perception de l'espace. La lumière crée et révèle des espaces, se joue des codes de perception, donne une existence matérielle aux œuvres qu'elle fait vivre ou, au contraire, leur donne une impression d'immatérialité par des jeux d'illusion. « *En jouant sur les reliefs ou la planéité, la couleur ou l'absence de couleur, la brillance ou la matité, la transparence ou l'opacité, sur la nature du matériau et son état de surface, l'architecte est en mesure d'exercer un certain contrôle sur l'aspect extérieur de sa construction* » (M. Goujet, 2007, p31).

Du point de vue esthétique, la philosophie des anciennes civilisations a élaboré le symbolisme de la lumière traversant la matière, comme principe. Plusieurs éléments tels que les vitraux, stores, résilles ou moucharabiehs, vu leur composition constructif qui est une combinaison de deux zones : transparentes et opaques produisent des taches de lumière, dont la couleur et l'intensité dépendent du matériau transparent, et la forme de celle de l'élément opaque et participent à la création d'une situation de perception particulière. ces motifs complexes viennent souligner la matérialité de la surface et l'origine du matériau. Mais les jeux d'ombres portées peuvent également être issus d'un processus maîtrisé.

L'accès du soleil est l'un des *matériaux* de base de toute conception architecturale. Élément librement disponible, elle est prise en compte prioritairement dans les programmes d'architecture contemporaine. Cela a donné lieu à des théories développées par de nombreux architectes et artistes contemporains. La lumière comme *matière*, c'est le concept que défendait Le Corbusier en 1923 dans son ouvrage '*Vers une architecture*' : « *L'architecture est le jeu savant, correct et magnifique des volumes assemblés sous la lumière* » et « *Les éléments architecturaux sont la lumière et l'ombre, le mur et l'espace* ». (Le Corbusier, 1977). Pas loin de ces pensées, M. Twarowski aborde un point original auquel il consacre près d'une centaine de pages : celui de l'hélioplastique ou la

plastique solaire des objets construits dont il remarque que les différents éclairagements produisent des effets particuliers et significatifs qui « maximalisent » ou non l'expression plastique propre à l'objet. Il suggère même que, dans le cas des compositions artistiques, cette expression plastique appartient en propre à l'œuvre et ne peut être modifiée impunément. Suivant la même approche, il s'intéresse au projet d'architecture et étend sa théorie de la plastique solaire aux bâtiments d'une ville, aux espaces intérieurs et même aux paysages et jardins. Il étudie la dynamique des taches d'ombre et de soleil et définit par cette dynamique une « vie des formes » architecturales. Cette approche place l'effet plastique au même niveau que les effets énergétiques et lumineux de l'ensoleillement et elle met en avant, pour la conception esthétique d'un objet, des méthodes de même nature que celles qui permettent de concevoir un pare-soleil efficace ou un éclairage suffisant. (D. Siret, 1997).

I.3. LE SOLEIL ET L'ENERGIE SOLAIRE:

L'augmentation brutale du prix du pétrole survenu en 1973 a conduit l'homme à s'intéresser à des sources d'énergie renouvelables. Elles englobent toutes les énergies inépuisables qui, depuis toujours, nous viennent du soleil, directement sous forme de lumière et de chaleur, ou indirectement par les cycles atmosphériques et la photosynthèse. Les énergies renouvelables sont largement disponibles à la surface de la terre, et leur emploi permet actuellement d'obtenir des installations à faible et moyenne puissances, appropriée à l'échelle domestique (Liébard, A. et De Herde, A., 2005). De toutes les ressources énergétiques renouvelables, l'énergie solaire n'a pas besoin d'une technologie de pointe pour son utilisation. Elle est disponible à tous les niveaux du globe terrestre, naturellement à différentes intensités et son utilisation ne produit pas de pollution et ne risque jamais d'épuisement connue par les sources d'énergie fossiles. Toutefois, L'exploitation de cette énergie se caractérise par un investissement parfois lourd, mais un combustible gratuit.

I.3.1. Le soleil :

Le Soleil est l'étoile du Système solaire. Dans la classification astronomique, c'est une étoile de type naine jaune, composée d'hydrogène (74 % de la masse ou 92,1 % du volume) et d'hélium (24 % de la masse ou 7,8 % du volume), une énorme boule chaude de gaz. C'est une étoile parmi des milliards dans notre galaxie (la voie lactée). Sa distance

moyenne à la Terre soit de 149,6 millions de kilomètres. Le Soleil mesure 1 400 000 kilomètres de diamètre, 108 fois le diamètre de la Terre⁹.

Le soleil constitue notre source énergétique fondamentale. Sa température superficielle est estimée à 5750°C émet un rayonnement sous forme de lumière et de chaleur, nommé *Le rayonnement solaire*. La lumière provenant directement du disque solaire possède une luminosité extrêmement élevée ou elle atteint une valeur de 60000 à 100000lux sur les surfaces perpendiculaires par rapport aux rayonnements incidents. (Bouvier, F., 1988)

Le spectre solaire se divise en trois parties : l'ultraviolet, le visible et l'infrarouge. Bien que l'intensité maximum du rayonnement solaire se situe dans le domaine visible, plus de la moitié de l'énergie est émise par le rayonnement infrarouge. La plupart des rayons ultraviolets et la totalité des longueurs d'ondes inférieures à 0,288 microns sont absorbés par la vapeur d'eau et le bioxyde de carbone. Lorsque le rayonnement atteint des molécules ou des particules dont les dimensions sont semblables ou inférieures aux longueurs d'onde, il est réfracté et diffusé dans l'espace. La lumière est ainsi diffusée, ce qui provoque l'illumination, même en absence de lumière solaire directe. Les nuages renvoient aussi une part importante du rayonnement solaire vers l'espace, mais le reste atteint la surface de la terre sous une forme diffuse (B. Givoni, 1978).

De l'énergie interceptée par la terre, 60% sont réfléchit directement par l'atmosphère, 16% contribuent à l'évaporation des océans, à l'origine du cycle de l'eau et de l'énergie hydraulique ; 11,5% sont réfléchis à la surface de la terre, 9,5% seulement absorbés par la masse terrestre et les masses d'air et environ 3% alimentent la photosynthèse (voir Figure 1) (A.Liébard, A.De Herde, 2005)

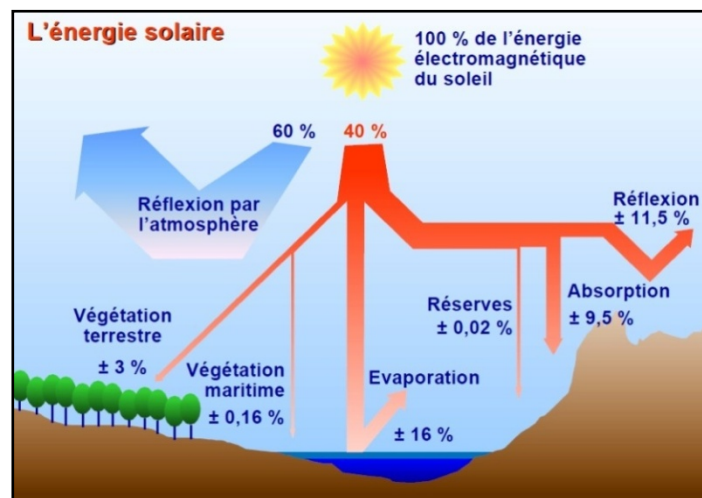


Figure 1.8. Ce que reçoit la terre du soleil

Source : (A.Liébard, A.De Herde, 2005, p30)

⁹ Site internet [en ligne] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Soleil> page consulté le 04/12/2011.

I.3.2. Le rayonnement solaire:

C'est une radiation électromagnétique émise par le soleil qui varie peu en dehors de l'atmosphère. Par contre le rayonnement disponible au sol dont une part constitue le rayonnement visible, dépend de la composition de l'atmosphère (A.Liébard, A.De Herde, 2005) et des corps terrestres : sol, plantes, bâtiments, et autres (F. Miguet, B. Paule, 2010). Le schéma suivant (figure 1.9) représente la valeur de l'énergie associée au spectre, avant et après qu'elle traverse l'atmosphère.

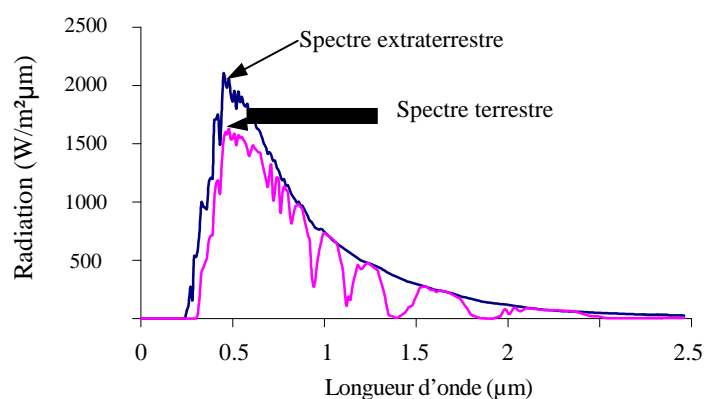


Figure 1.9. Quantité d'énergie solaire à la limite de l'atmosphère (en bleu) et à la surface de la terre (en rouge)

Source : [en ligne] URL : audience.cerma.archi.fr (consulté le : 11 juin 2012)

Cette radiation inclue à la fois le rayonnement visible, duquel dépendent directement les gains solaires, et le rayonnement de grande longueur d'onde qui conditionne les températures des surfaces extérieures. Sous les conditions climatiques de l'Algérie par exemple, un mètre carré d'une surface horizontale de la terre reçoit annuellement entre 1700 kWh/m² au Nord et 2650 kWh/m² au Sud. (F. Harouadi et Al, 2007).

A Batna (36° de latitude, 6° de longitude) et qui va constituer notre site d'étude, La durée d'insolation est considérable durant toutes les saisons de l'année. Le potentiel du rayonnement solaire est très important. Celui-ci est intense est de l'ordre de 1900 kWh/m²/an sur une surface horizontale. Le tableau 1.3 dans l'annexe 1.2 montre que les valeurs de l'irradiation globale augmentent durant la période chaude et sèche et diminuent pendant la période froide et humide.

Les rayonnements recouvrent un spectre qui intéresse donc à la fois les problèmes lumineux (éclairage lumineux) et les problèmes énergétiques (Rayonnement solaire). Ils

ne sont généralement pas perpendiculaires aux façades, non plus qu'à la majorité des toitures, en sorte qu'il commode de définir un ensoleillement type. A ce niveau, le rayonnement global reçu par n'importe quelle surface est constitué de trois composantes principales :

- Le rayonnement direct
- Le rayonnement Diffus

III.2.1.1. Rayonnement Direct :

Provient exclusivement du disque solaire tel qu'il est vu, et donc durant les seules périodes d'ensoleillement. Bien que, le rayonnement direct ou principal provienne de la direction du soleil, il est toujours accompagné d'un rayonnement diffus provenant de l'ensemble du ciel et que l'on mesure en conséquence, par watts reçus par mètre carré de plan horizontal (*F. Miguet, B. Paule, 2010*).

La composante directe du rayonnement dépend de la hauteur du soleil (réduction atmosphérique) et de l'angle d'exposition de la paroi au soleil à l'instant considéré.

L'angle d'incidence caractérise l'incidence avec lequel le rayon solaire frappe la paroi: c'est l'angle entre la normale à la paroi et le rayon solaire à l'instant considéré. L'inclinaison, l'orientation de la paroi et la direction du rayon solaire permettent d'évaluer cet angle d'incidence. Plus le flux est normal à la paroi, plus il est important, plus il est rasant, plus il est faible.

Hors atmosphère, le rayonnement solaire direct est un flux d'énergie quasi constant, dont la puissance est de 1367 w/m² de surface exposée perpendiculairement à la direction des rayons incidents. (*P. Lavigne., dans B. Samira, 2005*).

III.2.1.2. Rayonnement Diffus :

Est l'énergie diffusée par l'ensemble de l'hémisphère dans toutes les directions, vu à tout moment du jour par la surface réceptrice, ciel bleu, nuage, sol ou autres corps à l'exception du disque solaire (*F. Miguet, B. Paule, 2010*). Cette diffusion est importante lorsqu'il y a une forte nébulosité (cieux nuageux) et faible pour les ciels très clairs. La diffusion sur une surface horizontale sous un ciel clair correspond à environ 10% du rayonnement direct et elle n'est jamais nulle (*Liébard, A. et De Herde, A., 2005, p46*). La réduction de la densité du flux d'irradiation arrivant sur la surface terrestre est d'autant plus forte que la couche d'atmosphère est importante ; elle est donc en fonction directe de la hauteur du soleil. C'est alors qu'en été, la densité du flux atteignant une surface peut valoir

dans les meilleures conditions de 900 à 1000W/m². Ces divers rayonnements s'apprécient différemment selon que l'on considère qu'ils sont reçus par une surface plane horizontale, inclinée fixe ou orientée en direction du soleil.

III.2.1.3. Rayonnement réfléchi :

Il correspond aux réflexions par l'environnement des rayonnements directs et diffus. Le rayonnement réfléchi dépend principalement de la nature des surfaces.

III.2.1.4. Rayonnement global :

La somme du rayonnement solaire direct et du rayonnement solaire diffus constitue le rayonnement solaire global.

I.3.3. Le soleil source de lumière du jour :

Comme source d'éclairage naturel, la lumière est avec l'ensoleillement le facteur climatique dont il faut tirer parti. Une bonne conception et une utilisation judicieuse d'un bâtiment réduiront les besoins en éclairage même par ciel couvert.

La quantité de lumière reçue en un lieu varie suivant le jour et l'heure considérés. Elle est également influencée par les conditions météorologiques et le niveau de pollution de l'air. La lumière naturelle du jour, par ciel clair et site dégagé, est exprimée par la somme des éclairagements (mesuré en lux) dus au ciel et au soleil (*Liébard, A. et De Herde, A., 2005*).

I.3.3.1. Les conditions de ciel

I.3.3.1.1. Ciel clair :

Dans ce type de ciel le soleil est visible et les nuages ne dépassent pas le pourcentage de 20% (voir la figure 1.10.a). Il est appelé aussi *ciel serein*, La répartition des luminances est axée sur la position du soleil (*Liébard, A. et De Herde, A., 2005*). Lorsque le ciel est dégagé, on observe une zone de luminance maximale à proximité de la position du soleil. La zone la plus sombre se situe à 90° environ de la position du soleil, en passant par le zénith (*B.Paule, 2007*).

Ce type de ciel fournit trois genres de lumière ; une lumière directe du soleil, une diffusée du ciel et autre réfléchie de la terre ou d'autres surfaces dans l'environnement immédiat. Dans les calculs, la lumière devrait être incluse la lumière du soleil et du ciel. (*Izard, J-l., 1994*).

I.3.3.1.2. Ciel partiellement couvert :

Un ciel partiellement couvert est moins stable, il correspond à des conditions où l'ensoleillement disponible représente 20 à 80% de l'ensoleillement théorique (Liébard, A. et De Herde, A., 2005). La distribution des luminances d'un ciel couvert est éminemment variable. Il fournit une lumière diffusée des nuages et du ciel évident, la lumière directe du soleil et la lumière réfléchiée de la terre (figure 1.10.b). Pour la conception d'éclairage, il représente la situation la plus complexe. En général, les concepteurs considèrent seulement les deux situations extrêmes des ciels normaux (le ciel obscurci et le ciel bleu clair). (J-L. IZARD, 1994)

I.3.3.1.3. Ciel obscurci ou couvert :

Un ciel obscurci est un ciel complètement nuageux, dont moins de 20% de l'ensoleillement est disponible (Liébard, A. et De Herde, A., 2005). Il fournit une lumière diffusée des nuages et une lumière réfléchiée (figure 1.10.c.). Dans des climats où les ciels restent obscurcis sont les plus dominants le recours à l'éclairage artificiel se révèle nécessaire. (J-L. IZARD, 1994).

I.3.3.1.4. Ciels standards :

Vu la multitude de conditions météorologiques existantes, des ciels standards ont été établis pour les études d'éclairage naturel. Chacun de ces ciels est caractérisé par la répartition de sa luminance sur la voûte céleste.

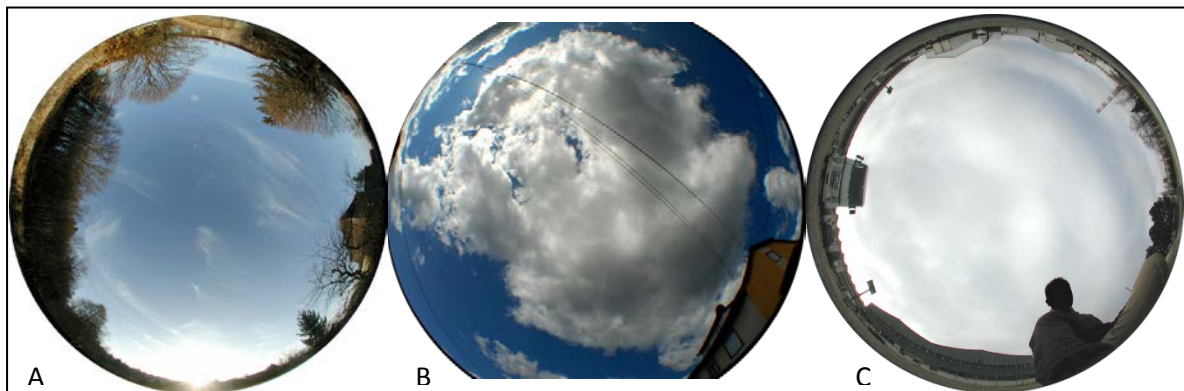


Figure 1.10. Les différents types de ciel.

Source: (B. Paule, 2007).

- Ciel uniforme : c'est le modèle le plus simple. Il correspond à un ciel couvert d'une couche épaisse de nuages laiteux ou à une atmosphère, pleine de poussières, dans lequel le

soleil n'est pas visible. Sa luminance est indépendante des paramètres géométriques : elle est constante en tout point du ciel à un moment donné.

- Ciel couvert CIE : Le ciel couvert (CIE) a été choisi par la Commission Internationale de l'Eclairage comme modèle de distribution des luminances représentatif pour simuler les apports de lumière naturelle diffuse et pour le calcul des valeurs de facteurs de lumière du jour (FLJ). Pour ce type de ciel, la luminance en un point varie en fonction de sa position sur la voûte céleste, suivant la loi :

$$L = L_z \frac{1 + 2 \sin \theta}{3} \dots\dots\dots\text{équation [1.1]}$$

Source : [Online] URL : <http://www-energie.arch.ucl.ac.be> (consulté le 3 Octobre 2012).

Où L_z représente la luminance au zénith et θ la hauteur de la zone du ciel considérée. Dans ce modèle, la luminance au zénith est 3 fois supérieure à celle de l'horizon (B.Paule, 2007). Ce modèle correspond à un ciel de nuages clairs cachant le soleil. Dans ce cas, la symétrie autour de la direction zénithale indique que l'orientation d'une baie verticale est sans effet sur le niveau d'éclairage intérieur.

- Ciel clair avec soleil : Alors que les deux modèles précédents ne font intervenir que la composante diffuse du rayonnement solaire, le ciel clair avec soleil prend en compte son rayonnement global, c'est-à-dire la somme des rayonnements directs et diffus. Ce quatrième type de ciel correspond à un ciel serein au sein duquel le soleil brille. Le ciel clair avec soleil offre la possibilité d'étudier les jeux d'ombres et de lumière ainsi que les risques d'éblouissement dus à la pénétration du soleil dans un bâtiment.

I.3.3.2. Le facteur de lumière du jour

Les exigences d'éclairage ne se traduisent par nécessairement en lux mais peuvent s'exprimer en valeur de facteur de lumière du jour (FLJ). Ce facteur est le rapport de l'éclairage reçu en un point du plan de référence (dans notre étude c'est les façades et toitures) à l'éclairage direct extérieur théorique. Il s'exprime en (%). Notant que la lumière solaire directe est exclue de ces deux valeurs.

La composante Directe représente entre 50% et 75% de la valeur moyenne du FLJ

La composante Réfléchie Externe représente entre 20% et 35% de la valeur moyenne du FLJ (B.Paule, 2007).

A partir de la définition précédente, le facteur de lumière de jour dépend donc :

- Du type de ciel considéré ;
- Des propriétés photométriques et des dimensions des obstructions extérieures éventuelles ;
- Des propriétés photométriques des parois du local ;
- Du point considéré.

I.3.4. Le Soleil Source D'énergie Renouvelable

Les utilisations les plus fréquentes et les plus répandus de la chaleur et de la lumière du soleil se regroupent en quelques applications : le chauffage des bâtiments, la production d'eau chaude, la génération d'électricité et l'éclairage de jour (schéma 1.1) (David Funk, 2010).

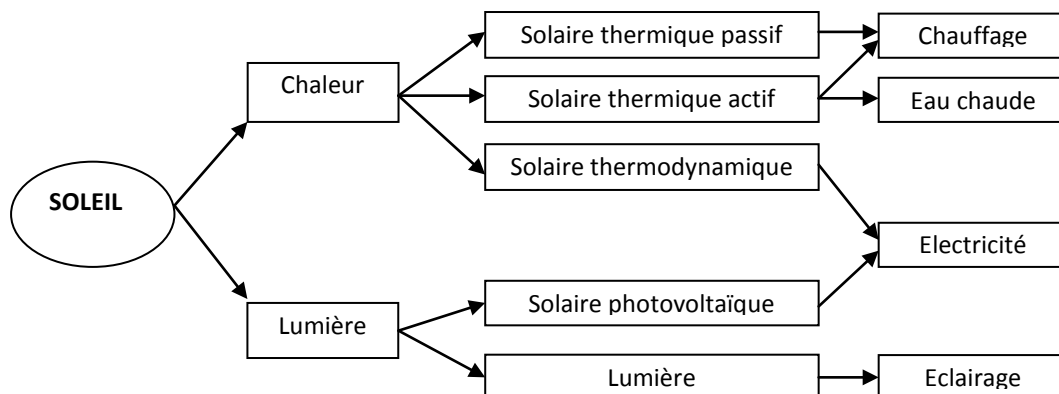


Schéma 1.1. Les applications de l'énergie solaire.

Source : (David Funk, 2010, p32).

I.3.4.1. Le solaire thermique passif :

Le solaire thermique passif est la première des quatre utilisations de l'énergie solaire qui sont présentées dans cet essai. Comme le nom l'indique, les techniques d'exploitation de cette forme d'énergie solaire ne font appel à aucun équipement mécanique ou électrique. Elles se produisent de façon passive (figure 1.11).

L'exploitation du solaire thermique passif vise à utiliser directement les rayons du Soleil pour réchauffer des surfaces ayant la capacité d'emmagasiner et de redistribuer cette énergie. Le rayonnement pénètre à l'intérieur d'un bâtiment par les fenêtres et est absorbé par les murs, les planchers, les meubles, etc. Ce sont ces surfaces et objets qui libèrent la chaleur tout au long de la journée et même durant la nuit. Ainsi, un simple choix stratégique dans l'orientation des bâtiments et une disposition astucieuse de la fenestration permet de réduire considérablement leur consommation énergétique, et ce, gratuitement. (David Funk, 2010)

Utiliser l'énergie solaire passive permet des gains d'énergie importants en assurant une part du chauffage. Toutefois, les apports solaires peuvent entraîner des surchauffes en été. Il est donc nécessaire d'optimiser le dimensionnement des baies vitrées pour satisfaire simultanément aux besoins en éclairage naturel (Liébard, A. et De Herde, A., 2005).

Aujourd'hui, l'utilisation des solutions thermiques passives permet de fournir de 30 à 70% de la demande en énergie de chauffage résidentielle (S. Roaf. Et Al, 2001). La performance d'une habitation solaire passive réside dans sa capacité à optimiser les quatre principes suivants : capter la chaleur du rayonnement solaire, l'emmagasiner à l'aide d'une masse thermique, la conserver par isolation et la redistribuer adéquatement.

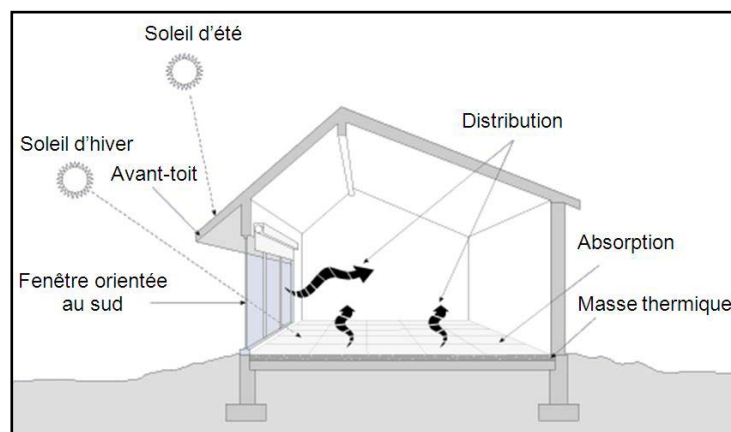


Figure 1.11. Exemple de design d'une habitation solaire passive
Source : (David Funk, 2010, p12).

I.3.4.2. Le solaire thermique actif :

Le solaire thermique couvre un double champ : le chauffage des bâtiments et le chauffage de l'eau sanitaire. Cette solution vise à tirer profit de l'énergie thermique du rayonnement solaire pour la transmettre à un fluide caloporteur.

L'énergie solaire est véhiculée au moyen d'un fluide circulant dans un système de tuyaux et par le biais d'un échangeur (voir la figure 1.12). Le rendement de ce phénomène ne dépend pas de la température extérieure, mais bien de la puissance et du temps de l'ensoleillement. Bien que le coût relié à l'achat des capteurs solaires soit encore élevé, l'apport en énergie solaire peut combler, gratuitement, jusqu'à 60 % des besoins en eau chaude domestique (David Funk, 2010).

Les capteurs, qui absorbent l'énergie du rayonnement solaire, doivent être orientés plein sud pour être le plus efficace. Ils sont souvent installés sur les toits, les murs ou sur un trépied.

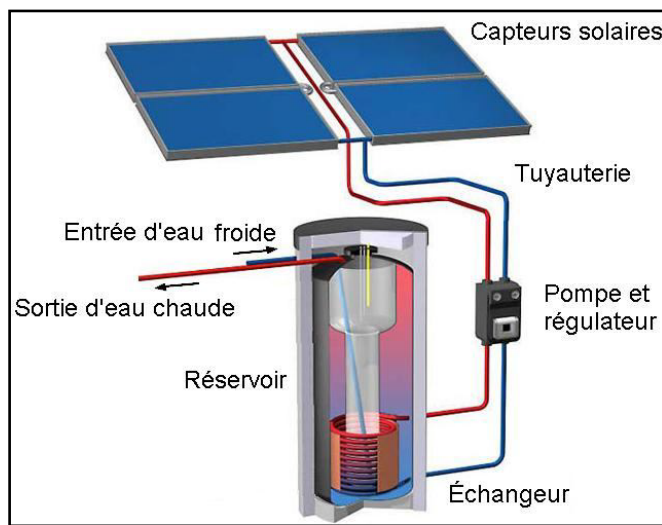


Figure 1.12. Système de capteurs solaires et réservoir d'eau chaude
Source : (David Funk, 2010, p19).

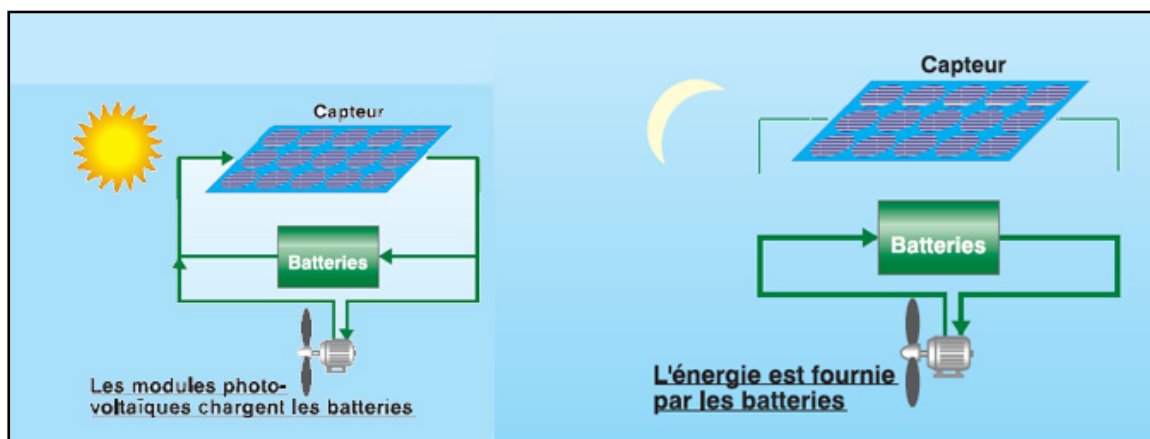


Figure 1.13. Typologie de système solaire photovoltaïque.
Source : (Liébard, A. et De Herde, A., 2005, p).

I.3.4.3. Le solaire photovoltaïque :

Le solaire photovoltaïque est probablement la forme d'énergie solaire la plus connue. C'est le physicien français *Antoine-César Becquerel* qui a observé la réaction photovoltaïque pour la première fois en 1839 lorsque des éléments conducteurs ont généré un courant en présence de lumière (photons).

L'élément de base de cette technologie est la cellule photovoltaïque. Son principe est de convertir cette énergie à travers un matériau semi-conducteur -le silicium en général- en énergie électrique. Cette production est intermittente et ne permet pas de fournir une puissance constante sans utiliser d'organes de stockage (figure 1.13) (*L. Abbassen, 2011*).

Un des principaux avantages des panneaux solaires photovoltaïques réside dans leur flexibilité. Ils peuvent être installés pratiquement partout et produisent de l'électricité là où se trouve la demande. Leur utilisation convient particulièrement bien à l'alimentation des habitations qui se situent loin du réseau d'électricité. Néanmoins, d'autres sources d'énergie sont généralement nécessaires pour combler les besoins reliés aux électroménagers et au chauffage, ou pour garantir une alimentation constante. (*David Funk, 2010*).

Le rendement des panneaux solaires thermiques et la productivité photovoltaïques dépendent de la qualité et du type de capteur solaire. En outre, le rendement global annuel d'une installation solaire dépend d'autres facteurs que simplement le choix de collecteur. La situation géographique - plus spécifiquement la latitude, l'orientation et l'inclinaison des collecteurs ou des murs, les masques solaires - peut également réduire leur équilibre d'exécution d'énergie et d'analyse économique. En outre, les besoins énergétiques prévus, le nombre de mètres carrés de capteurs solaires, le réservoir de stockage et la réglementation, fourniront une solution techno-économique optimale et offriront une rentabilité à long terme.

I.3.4.4. L'éclairage naturel

Le soleil fournit une lumière de forte intensité ou elle atteint une valeur de 60000 à 100000lux sur les surfaces perpendiculaires par rapport aux rayonnements incidents. (*Bouvier, F., 1988*)

Pour presque tous les bâtiments, l'accès à la lumière naturelle est essentiel. Les usagers préfèrent généralement occuper des locaux bien éclairés. La lumière du jour améliore la qualité des espaces intérieurs leur donne une variété et un intérêt. La lumière de l'espace, et le changement de sa quantité pénétrant lumière naturelle possède d'un excellent rendu de couleurs et permet de remplacer, du moins durant le jour, les appareils d'éclairage artificiel qui consommeraient une quantité d'énergie plus grande. Ainsi, lorsque la lumière du jour est suffisante, les appareils électriques s'éteignent ou sont tamisés. À la tombée de la nuit ou lors de journée nuageuse, les lumières s'allument en fonction des besoins d'éclairage. Les économies d'énergie réalisées à l'aide de ce genre de système peuvent réduire de deux tiers les frais d'éclairage. (*David Funk, 2010*)

La disponibilité de la lumière du jour dépend de la conception de bâtiment : les fenêtres, les réflectivités internes des matériaux et le type de vitrage peuvent influencer la quantité de la lumière naturelle à l'intérieur des locaux. Aussi, l'environnement externe est également un facteur très important : Les grandes obscurités extérieures par exemple, réduisent considérablement la quantité de lumière naturelle disponible. (*P.J. Littlefair, 2000*) L'emplacement du bâtiment dans son milieu est également un élément important à considérer. En région urbaine, des immeubles avoisinants peuvent créer de l'ombrage à certains moments de la journée et selon la saison. La forme du bâtiment, la disposition des pièces, la dimension et la position des fenêtres sont tous des facteurs qui influencent l'accès à la lumière naturelle par les occupants.

L'intégration de l'éclairage naturel dans la conception des bâtiments est influencée par de nombreux facteurs. Le rayonnement solaire direct constitue une source importante de lumière, mais peut causer des problèmes d'éblouissement. À l'opposé, la lumière naturelle diffuse générée par temps plus nuageux est moins intense, mais peut être contrôlée plus facilement.

S'il est bien intégré dès la conception des bâtiments, L'éclairage naturel possède plusieurs avantages par rapport à la lumière artificielle. Dans les bâtiments commerciaux, les économies d'énergie peuvent être substantielles. En effet, une intégration adéquate de l'éclairage naturel diminue l'apport thermique généré par les lumières et réduit les besoins en climatisation. L'accès aux rayons du soleil présente aussi de nombreux bénéfices pour le bien-être des occupants (schéma 1.2). (*David Funk, 2010*).

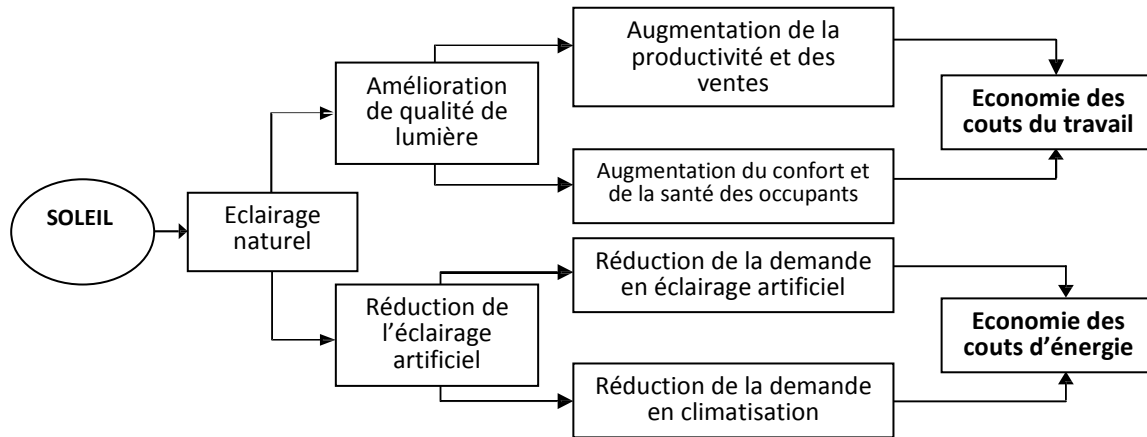


Schéma 1.2. Les bénéfices de l'éclairage naturel dans les bâtiments.

Source : (David Funk, 2010, p29).

I.4. CONCLUSION :

De tous temps et dans toutes les civilisations, les accès solaires ont joué un rôle important. L'accumulation directe ou indirecte de l'énergie solaire et sa consommation était le caractère général de toutes les anciennes sociétés. L'architecture ancienne a été entrelacée avec la nature, en particulier avec les pouvoirs numineux du soleil et ses qualités bénévoles. Pour les deux civilisations à l'Est et à l'Ouest, l'énergie solaire était un symbole clair de confort sensuel, de luxe et de richesse qui n'ont été pas misent à la disposition de la plus large partie de population jusqu'à l'avènement de la révolution industrielle. Après, les consommations énergétiques ont évolué rapidement, surtout dans le secteur de bâtiment, et l'utilisation des combustibles fossiles pour la production de l'énergie est devenu un souci du point de vue environnementale et économique.

La crise de l'énergie a brutalement mis l'accent sur l'importance du volume de combustible utilisé pour le chauffage et la climatisation, en raison de cette consommation qui influe sur la charge d'exploitation des immeubles et également sur l'ensemble de l'économie des pays. Ceci a conduit vers une politique visant la réduction de consommation et l'utilisation des sources de l'énergie renouvelables. L'énergie solaire en particulier était une solution claire.

La nature géométrique de l'ensoleillement a plusieurs implications importantes pour nous, à savoir : l'implication énergétique en compensant les déperditions thermiques des bâtiments, lumineuse comme éclairage naturel qui offre un confort et un bien être qui sont

au centre des exigences actuelles et esthétique tous simplement par le contrôle de la quantité et l'emplacement de la lumière afin de changer chaque instant la perception de l'espace.

La comparaison avec les autres sources d'énergie renouvelables selon des critères de développement durable permet de déterminer que l'énergie solaire doit davantage être employée. L'énergie importante due à la fusion des noyaux d'atomes d'hydrogène qui composent le Soleil et le géant flux lumineux produit par cette réaction peuvent être utilisés de différentes manières. Les principales technologies solaires évaluées dans ce chapitre exploitent deux formes d'énergie du Soleil : la chaleur et la lumière, et cela, de quatre façons différentes :

- 1- L'énergie solaire thermique : est la production de chaleur ou de vapeur à partir de la chaleur du Soleil, laquelle sera changée en électricité
- 2- l'énergie photovoltaïque est la production d'électricité par capture du rayonnement solaire
- 3- l'énergie solaire passive est l'usage de la lumière pour produire de la chaleur
- 4- et enfin, la lumière du jour est utilisée directement comme source d'éclairages des espaces intérieurs et extérieurs.

On peut conclure dans ce chapitre que le recours à l'énergie solaire passive est généralement considéré comme la façon la plus facile et la plus rentable de chauffer les nouvelles constructions ou des facteurs tels que l'orientation, la taille, l'emplacement, les pans vitrés et les matériaux du bâtiment peuvent être contrôlés afin de maximiser l'absorption solaire.

Chapitre 02,

La géométrie solaire et

la simulation de l'ensoleillement

II.1. INTRODUCTION :

Le soleil peut être considéré comme ami, ou ennemi, dans le processus de conception des bâtiments. Une conception bioclimatique pauvre, souvent présente dans l'architecture d'aujourd'hui est la cause directe de surchauffe des locaux, même dans des climats tempérés ou froids où de tel problème n'ont jamais existé dans l'architecture dite 'traditionnelle' (Roaf, et Al, 2001). La puissance du soleil devrait être comprise et respectée d'une manière à éviter les conséquences indésirables. Un tel but invite les concepteurs à prendre en mesure certaines solutions qui découlent souvent de la prise en considération d'abaques représentant les trajectoires apparentes du soleil.

La première partie de ce chapitre concernera le tirage au clair des caractéristiques de ces trajectoires : inclinaison, durée de parcours et leurs fonctions de la situation géographique de l'observateur et de la saison. Il s'agit d'apercevoir les états spatio-temporels d'ensoleillement. (Siret, 2007). Autrement dit, de comprendre le rapport géométrique entre la terre et le soleil afin de déterminer l'emplacement du soleil à chaque heure de l'année. Également, le calcul des masques et l'évaluation de l'infiltration du soleil dans les bâtiments.

Dans une deuxième partie, pour parvenir à des questions de l'ordre de la recherche de durée d'ensoleillement d'un site donné, ou de quantité d'énergie solaire et de lumière reçu sur une facette d'enveloppe, il paraît essentiel de déterminer les outils (méthodes, instruments, logiciels, etc.) qui ont été proposés dans le domaine de la simulation solaire pour l'architecture et l'aménagement urbain. Nous abordons un état de l'art de ces méthodes, et nous proposons de différencier les outils de simulation en graphiques, analogiques et numériques. Ces derniers sont détournés en 2D et en 3D. Ils semblent être plus rapides et plus efficaces et permettent de mieux révéler la complexité des contraintes solaires ou visuelles dans l'espace. C'est pour cette raison, on va essayer de les analyser profondément en donnant des exemples et en tirant des avantages et des inconvénients pour chaque méthode.

II.2. ASPECT GEOMETRIQUE DU SOLEIL :

Une première contrainte qui s'impose, c'est la présence variable du soleil, Goujet écrit : « *La Terre tourne autour du Soleil mais les Hommes ont depuis la nuit des temps la sensation que c'est le Soleil qui tourne autour de notre planète. De fait, pour un observateur terrestre se trouvant dans l'hémisphère Nord, le Soleil décrit chaque jour une certaine trajectoire dans le*

ciel, de l'Est à l'Ouest en passant plus ou moins par le Sud (par le Nord pour un observateur se trouvant dans l'hémisphère Sud) ». (Goujet, 2007, p5)

Dans chaque lieu, la trajectoire du soleil dans le ciel diffère tout au long de l'année. Il suit plusieurs rythmes bien connus : jour - nuit et printemps, été, automne, hiver. Cette trajectoire décrit le mouvement apparent du soleil sur la voûte céleste pour un observateur situé en un point fixe de la Terre. Pour cet observateur, les trajectoires apparentes figurent le chemin perceptible du soleil, du lever au coucher, tout au long de l'année. (Siret, 2007)

II.2.1. Le mouvement : soleil- terre :

II.2.1.1. Vision héliocentrique :

Les mouvements de la terre à l'intérieur du système solaire sont très complexes. La course de la terre autour du soleil décrit une ellipse légèrement aplatie. La terre prend 365,24 jours (365 jours 5 h 48' 46" pour être précis) pour terminer cette ronde. Elle effectue également un tour complet sur elle-même autour de l'axe des pôles en 24 heures. Cet axe reste parallèle à lui-même durant ce déplacement, cependant, il fait un angle d'inclinaison de $23^{\circ}27'$ par rapport à la normale du plan de l'écliptique (plan de déplacement du soleil). Cette inclinaison est constante tout au long de la course autour du soleil, sa valeur indépendante de la position de l'observateur sur la terre. Elle ne dépend que du temps saisonnier, qui lui résulte seulement de la position de la terre par rapport au soleil. Elle est spécifique d'une date de l'année. (Liébard, De Herde, 2005 ; Siret, 2007; Roaf, et Al, 2001)

L'examen des propriétés géométriques du mouvement de la terre autour du soleil permet de déterminer que les variations de déclinaison au cours de l'année, (de $-23^{\circ}27'$ à $+23^{\circ}27'$) décrivent une sinusoïde. Le sens des variations de la déclinaison peut être appréhendé au travers des quatre positions clés (figure 2-1) :

- La déclinaison est nulle en deux points de l'orbite terrestre, lorsque l'axe des pôles appartient à un plan tangent à cette orbite.
- Quelle que soit la latitude, la durée du jour est alors égale à celle de la nuit : ce sont les équinoxes de printemps (21 mars) et d'automne (22 septembre).
- La déclinaison est maximale et égale à l'inclinaison de la Terre ($23^{\circ}27'$) en deux points de l'orbite terrestre, lorsque l'axe des pôles appartient à un plan orthogonal à cette orbite. Pour l'un de ces points, le jour atteint sa durée maximale dans l'hémisphère Nord (solstice d'été) et minimale dans l'hémisphère Sud (solstice d'hiver). Le phénomène inverse se produit pour l'autre point (solstice d'hiver dans l'hémisphère Nord et solstice d'été dans

l'hémisphère Sud). Entre ces positions, la déclinaison varie journalièrement et définit traditionnellement les saisons. (Siret, 2007)

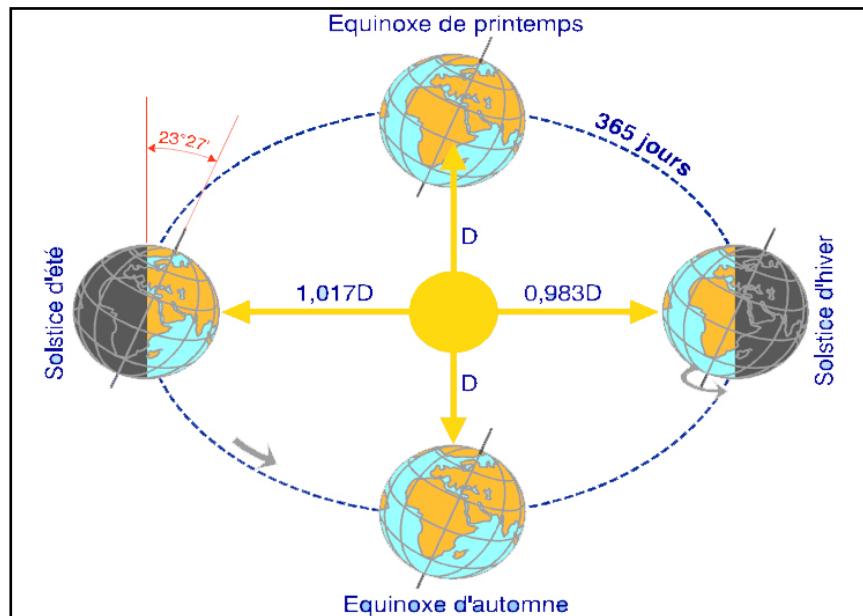


Figure : 2.1. Description simplifiée du plan orbital du système terre-soleil
Source : Liébard, De Herde, 2005, p1

II.2.1.2. Vision lococentrique et coordonnées solaires:

Dans nos travaux pratiques, on considère souvent notre position sur la surface terrestre comme le centre du monde : on assume que le cercle d'horizon est plat et le ciel est une chambre hémisphérique. (Szokolay, 2007). La position angulaire du soleil comme une personne la voit d'un endroit particulier sur la surface de la terre varie chaque heure et chaque saison. Elle est relative et peut être repérée à chaque instant par son azimut et sa hauteur angulaire (figure 2.2) (Goulding, et Al, 1986)

II.2.1.2.1. Le mouvement apparent du soleil autour de la Terre :

Le mouvement apparent du soleil sur la sphère céleste n'est que le miroir du mouvement réel de la Terre sur son orbite. Il peut être tracé sur sa sphère céleste locale. La figure 2.2 représente ce mouvement en considérant que la Terre effectue sa révolution autour du soleil en trois révolutions autour d'elle-même (c'est une représentation des trajectoires solaires circulaire correspondant aux solstices d'été et d'hiver ainsi que les équinoxes de printemps et d'automne). (Siret, 2007). Il convient alors de placer le plan parallèle à l'équateur en respectant les données de la latitude. Ce plan fait un angle de $(90^\circ - \text{Latitude})$ avec le plan

horizontal de la sphère céleste locale à la latitude considérée. La déclinaison permet de positionner un point de la trajectoire du soleil sur la sphère. La trajectoire diurne est le cercle parallèle au plan de l'équateur correspondant à la rotation de la sphère locale autour de l'axe des pôles.

Pour simplifier la lecture, On peut simplement plonger la sphère céleste équatoriale dans la sphère céleste locale en lui appliquant simplement une rotation d'un angle égal à $(90 - \text{Latitude})$ correspondant à l'angle entre le plan horizontal du lieu et le plan équatorial. Figure 2.2 en haut.

C'est cette représentation qui est généralement mise en œuvre pour décrire les trajectoires apparentes du soleil sur la sphère céleste. Elle discrétise la course annuelle du soleil en un ensemble de cercles parallèles, chacun représentant une journée, et dont la hauteur relative au plan équatorial est égale à la déclinaison moyenne du soleil pendant cette journée. (Siret, 2007). Par convention, le cercle horaire de 0° correspond au moment où le soleil est dans le plan méridien du lieu ; il est Midi Solaire. (Cerma, 2012)¹

II.2.1.2.2. L'azimut du soleil :

La sphère céleste locale de l'observateur utilise un repère spécifique du lieu dans lequel il se trouve. Son repère local est défini par le plan horizontal et la verticale du lieu. La voûte céleste de l'observateur peut être décomposée en deux réseaux de cercles, les uns horizontaux marquant les hauteurs, les autres verticaux indiquant les directions azimutales. (Cerma, 2012).

L'azimut du soleil γ est défini comme l'angle horizontal formé par un plan vertical passant par le soleil et le plan méridien du point d'observation. (Liébard, De Herde, 2005). Il est mesuré à partir de la direction du Sud (azimut zéro ou midi solaire : quant le soleil passe dans le méridien du lieu), positivement vers l'Ouest et négativement vers l'Est. (Voir la figure 2.3)

II.2.1.2.3. La hauteur angulaire du soleil (l'altitude)

Désigné aussi sous le nom de "l'altitude", la hauteur angulaire du soleil α est l'angle que fait la direction apparente du soleil avec le plan d'horizon. (Voir la figure 2.3). (Liébard, De Herde, 2005). Elle varie dans un intervalle $[0, a]$, où 0 représente la hauteur au lever et au coucher (intersection du plan horizon du lieu avec la sphère céleste) et a, la hauteur maximale, fonction de la latitude du lieu d'observation.

¹ CERMA « La géométrie solaire », Site internet [en ligne] URL : <http://audience.cerma.archi.fr> (consulté le 4 janvier 2012).

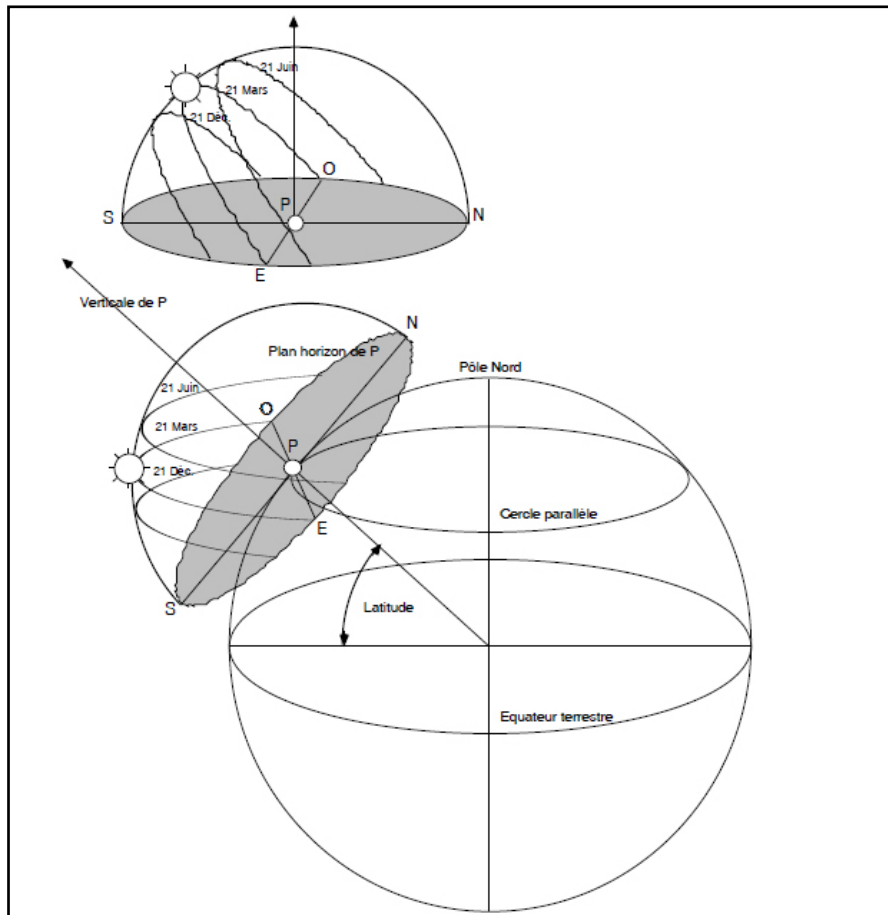


Figure.2.2. Trajectoires solaires apparentes en un point P sur la Terre.
 Source : (Siret, 2007, p72)

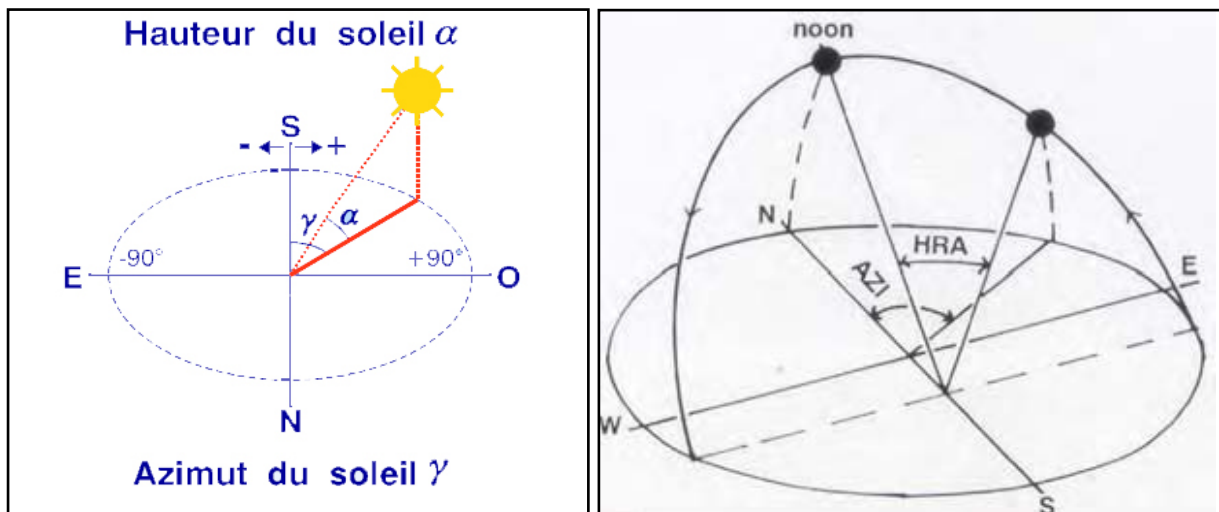


Figure.2.3. (à gauche) : Coordonnées solaires (altitude et azimut du soleil).
 Source : ((Liébard, De Herde, 2005, p12).

Figure.2.4. (à droite) : Définition de l'angle horaire solaire.
 Source : (Szokolay, 2007, p6).

Notons que trois données sont indispensables à la détermination de la position du soleil en un lieu terrestre, soit : la latitude (dépendant du lieu), la déclinaison (dépendant du jour) et l'angle horaire (dépendant de l'instant).

II.2.1.2.4. L'angle horaire solaire :

Il traduit le mouvement journalier du soleil sur sa trajectoire.

L'angle horaire solaire *HRA* exprime le temps du jour par rapport au midi solaire : c'est la distance angulaire, mesurée sur le plan de trajectoire apparent du soleil (figure 2.4), entre la position du soleil à considérer et sa position au midi solaire (le méridien solaire). (*Szokolay, 2007*). Comme la rotation horaire de la terre est de $360^\circ/24\text{h}$, *HRA* est de 15° pour chaque heure du méridien solaire.

II.2.1.2.5. Le temps solaire vrai et l'heure légale :

Le calcul exact des coordonnées angulaires du soleil nécessite la connaissance des différences entre le temps solaire vrai TSV, et le temps à l'heure légale TL (que votre montre affiche).

D'abord, il faut noter que les passages successifs du soleil au méridien du lieu délimitent le Jour Solaire Vrai, varie au cours de l'année et pouvant atteindre une différence en plus ou en moins de 15 à 16 minutes. Le Temps Solaire Moyen TSM, (qui estime le temps deux passages successifs du soleil au méridien d'un même lieu à 24h. 00mn. 00s) diffère donc du Temps Solaire Vrai, d'une valeur donnée par l'équation du temps qui fixe le retard ou l'avance du Temps Solaire Moyen : (*Givoni, 1978*)

$$\text{TSV} = \text{TSM} + \text{correction du temps}$$

Le Temps Universel TU correspond au Temps Solaire Moyen TSM au méridien de Greenwich, choisi comme méridien origine. Une correction de longitude (1 heure par 15° de longitude, soit 4' par degré de longitude) négative pour les lieux de longitudes Ouest, positive pour les longitudes Est, est appliquée pour obtenir le Temps Solaire Moyen au lieu considéré. (*Guide de l'énergie solaire passive. Mazria dans Cerma, 2012*)

$$\text{TU} = \text{TSM} + \text{correction de longitude}$$

Enfin, le Temps Légal TL qui dérive du temps universel suivant le système des fuseaux horaires. Généralement, chaque pays adopte l'heure du fuseau horaire correspondant à la longitude de sa capitale. (*Guide de l'énergie solaire passive. Mazria dans Cerma, 2012*) Pour passer de l'heure solaire à l'heure légale, on applique alors :

$$\text{TL} = \text{TSV} + \text{correction du Temps} + \text{correction de Longitude} + \text{Time Zone}$$

Dans l'absolu, la différence entre heure légale et l'heure solaire vraie du lieu n'a pas d'importance lorsqu'il s'agit de déterminer les durées d'ensoleillement et les valeurs d'irradiation. En revanche, cette différence peut devenir significative en termes de consommation énergétique si elle est rapportée à l'usage du bâtiment, dans le tertiaire notamment.

II.2.1.2.6. La latitude et les conditions saisonnières d'ensoleillement :

La latitude d'un lieu donné est une variable très importante à considérer lors de détermination de la position du soleil. D'après la définition de CERMA², elle correspond à l'angle entre la droite joignant le point considéré sur la terre et le centre de la terre avec le plan de l'équateur terrestre.

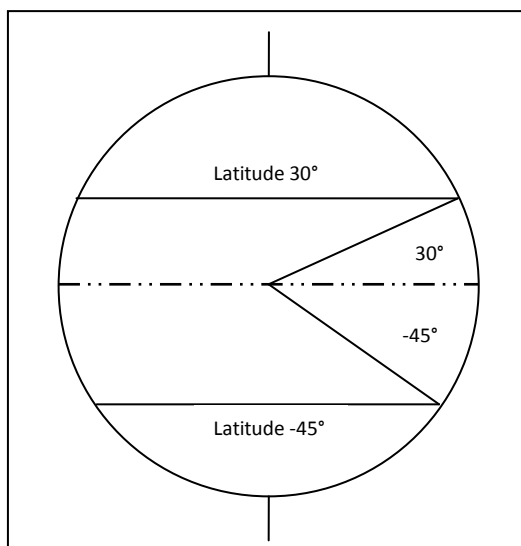


Figure.2.5. Définition de la latitude géographique.

Source : (Szokolay, 2007, p5).

L'ensemble des points terrestres de même latitude constitue un parallèle terrestre. Du fait, de la rotation diurne de la terre autour de son axe des pôles, chacun des points d'un même parallèle se trouve ainsi, à un décalage horaire près, dans une situation d'ensoleillement identique. Selon la latitude, les conditions d'ensoleillement sont différentes au cours de l'année. On peut, en chaque latitude, déterminer précisément ces conditions et obtenir les coordonnées terrestres du soleil correspondantes. (Bellara, 2005)

² CERMA « La géométrie solaire », Site internet [en ligne] URL : <http://audience.cerma.archi.fr> (consulté le 4 janvier 2012).

II.2.2. Représentations graphiques :

Il existe plusieurs façons de montrer la voûte céleste à trois dimensions sur des représentations planes. La trajectoire solaire dans une date et heures données serait alors tracé sur ces représentations que les spécialistes les appellent *abaques et diagrammes solaires*.

« *Les abaques et les diagrammes solaires ont généralement une double fonction. Ils permettent d'une part de déterminer, avec une approximation suffisante, les coordonnées angulaires du soleil pour une date et un instant donné ; d'autre part, ils sont le support des constructions géométriques nécessaires à la simulation graphique de l'enseillement, tant pour la détermination des ombres que pour celle des périodes d'enseillement.* » (Siret, 2007, p77)

A ce propos, Francis Miguet classe ces représentations en trois catégories :

- les abaques solaires universels ;
- les diagrammes solaires ;
- les gnomons.

Les deux premiers utilisent, comme support graphique, une carte du ciel, c'est-à-dire un canevas fait du réseau des courbes d'égale hauteur angulaire et d'égale azimut, et le dernier une perspective plane. (Miguet, Paule, 2010)

II.2.2.1. Abaques solaires universels :

Ils doivent permettre de passer d'une latitude à une autre, par l'intermédiaire d'une construction géométrique simple. Le *solar altitude* met en œuvre la rotation d'un disque transparent portant les parcours, gradués en heures, du Soleil pour diverses dates, le disque fixe portant la carte du ciel (figure 2.6). La lecture se fait à la précision de deux degrés.

Ces abaques permettent, à partir des hauteurs et azimuts ainsi repérés, d'effectuer les tracés d'ombre sur les plans et élévations. Ils ne permettent pas les études directes d'insolation, d'éclairage et d'irradiation. (Miguet, Paule, 2010).

II.2.2.2. Diagrammes solaires :

Ces représentations graphiques de la course du soleil, constituent un moyen pratique et facile à comprendre pour repérer le trajet du soleil à travers le ciel. Les diagrammes solaires sont des projections, sur des surfaces choisies, des trajectoires du Soleil dans le ciel et des directions de repérage sur la voûte céleste.

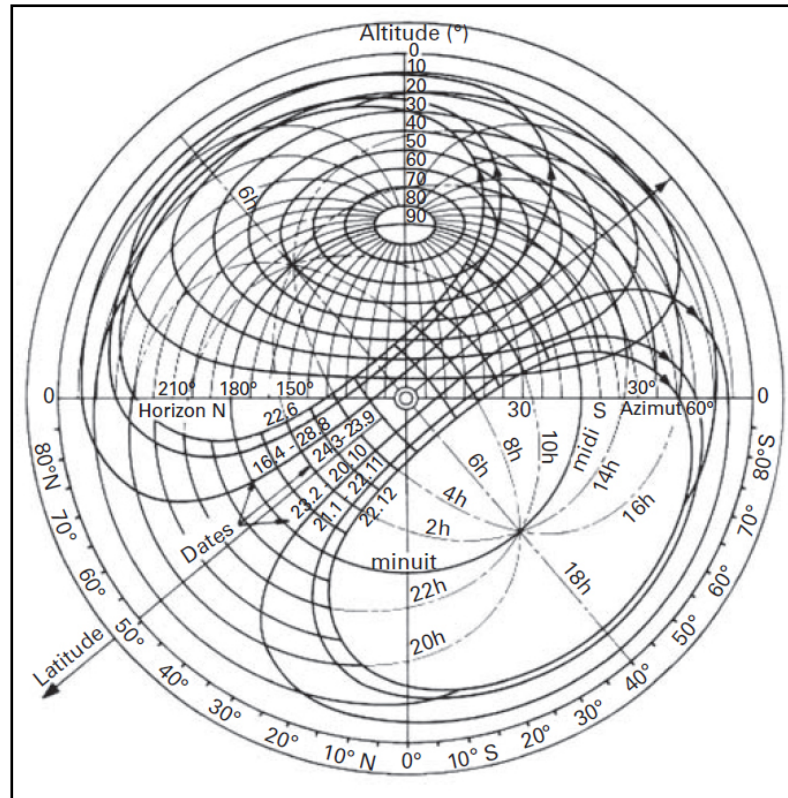


Figure 2.6. Calcul de l'altitude du soleil utilisant un abaque solaire universel.

Source : (Miguet, Paule, 2010, p6).

II.2.2.2.1. Diagrammes solaires monolatitudes :

Se sont des représentations spécifiques d'une seule latitude, ils assurent la détermination des coordonnées solaires et ils permettent, surtout, de se passer de cette détermination pour effectuer, sans intermédiaires, des études directement productives d'ingénierie et d'architecture solaire.

On utilise cinq types de projection : (Miguet, Paule, 2010)

- équidistante ;
- orthographique ;
- stéréographique ;
- les perspectives ou projections gnomoniques ;
- la projection cylindrique. (Figure 2.7)

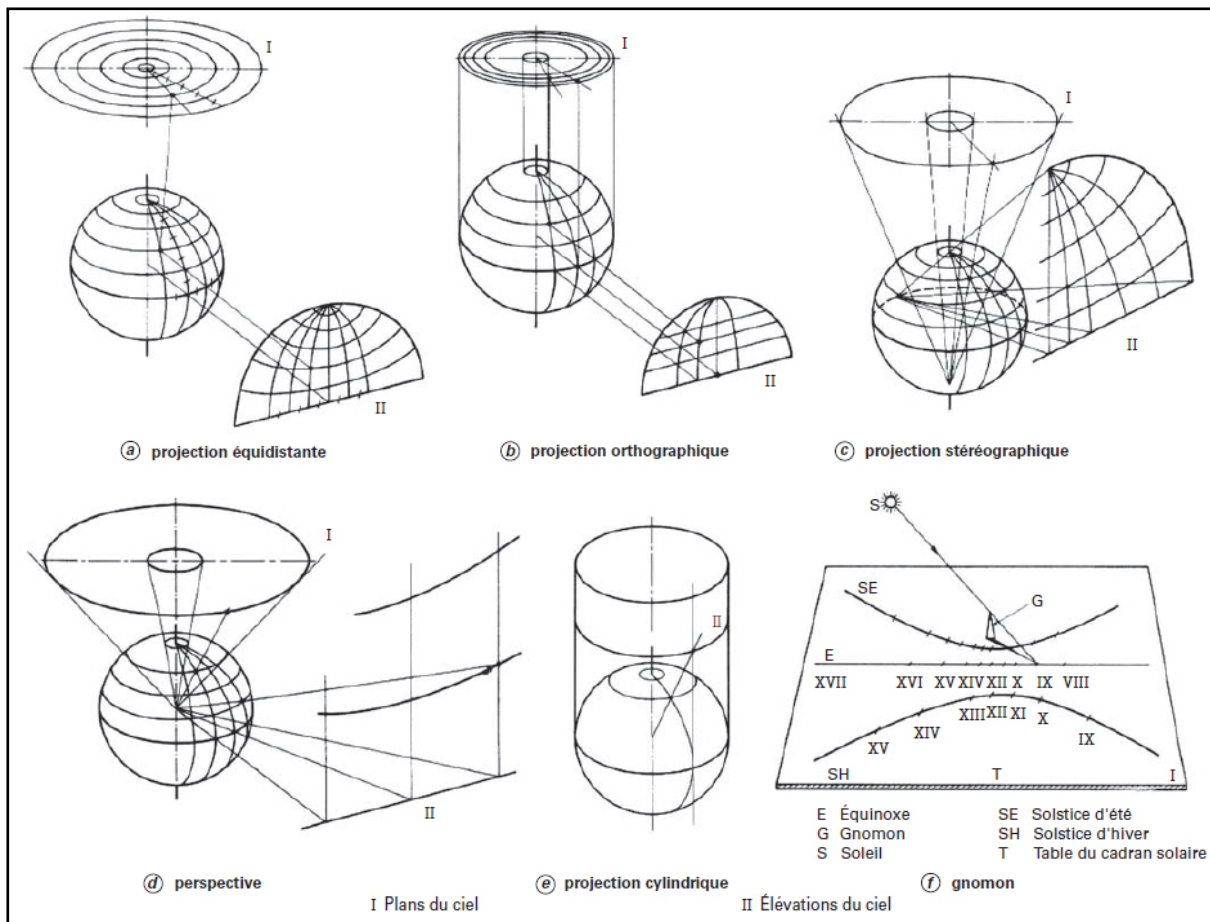


Figure 2.7. Modes de projection utilisés pour réaliser des cartes du ciel.
Source : (Miguet, Paule, 2010, p7)

Notons que les quatre premières méthodes sont utilisées pour dresser, soit des plans, soit des élévations du ciel. Pour les élévations, il faudrait utiliser une planche pour chaque orientation de la projection.

II.2.2.2.1.1. Représentation équidistante

Utilisée souvent aux Etats-Unis, la représentation équidistante n'est pas une méthode de projection, mais un ensemble de coordonnées radiales avec des cercles d'altitude également espacés, sur lesquels sont tracés les chemins du soleil. (Fig.2.7.a), (Szokolay, 2007). Elle présente l'avantage de faciliter les repérages angulaires. Elle donne des images identiques aux photographies réalisées avec un objectif fish-eye pointé verticalement. (Miguet, Paule, 2010)

II.2.2.2.1.2. Projection orthographique

La projection orthographique (ou parallèle) est la méthode employée dans le dessin technique. La figure 2.7.b montre comment les points de l'hémisphère doivent être projetés sur la représentation plane de l'horizon. (Szokolay, 2007). Cette projection tasse la partie de ciel

voisine de l'horizon, qui est la plus encombrée et la plus intéressante pour l'architecture. En conséquence, elle donnerait une résolution plutôt pauvre pour de basses positions solaires. Toutefois, cette représentation donne une impression de profondeur et conserve les surfaces, ce qui est favorable aux calculs énergétiques ou d'éclairage. (Miguet, Paule, 2010)

II.2.2.2.1.3. Projection stéréographique³

Conçue par *Phillips* en 1948, la représentation stéréographique (ou radial) emploie le point théorique de nadir comme centre de la projection (Fig.2.7.c). C'est, avec la perspective sur plan vertical, la méthode la plus utilisée au monde. (Szokolay, 2007; Miguet, Paule, 2010). Les lignes du parcours solaire d'équinoxes et de solstices sont toujours figurées. Mais les lignes des dates intermédiaires sont arbitrairement choisies.

II.2.2.2.1.4. les perspectives

« Ont l'inconvénient de ne pas pouvoir faire figurer, dans les perspectives horizontales, le lever et le coucher du Soleil qui sont rejetés à l'infini. Elles transforment les trajectoires solaires en hyperboles, ce qui est assez inhabituel. En revanche, elles présentent le grand avantage d'offrir un aspect de l'environnement proche de la vision ordinaire, au moins dans la partie centrale de l'angle de vue, ce qui élimine beaucoup de risques d'erreur et facilite les contrôles.

De plus, les perspectives transforment tous les grands cercles de la voûte céleste en droites. Or, ces derniers sont nombreux : lignes horaires, trajectoire du Soleil à l'équinoxe, cercles des longitudes ou d'azimut, et toutes les droites elles-mêmes (contours des bâtiments, auvents et brise-soleil). La conservation des alignements est une facilité essentielle pour le projecteur ». (Miguet, Paule, 2010, p6) (Figure.2.7.d).

II.2.2.2.1.5. projection cylindrique

Consiste à projeter l'hémisphère sur un plan vertical cylindrique l'entourant, d'une manière semblable à la projection de la carte plane du globe (Fig.2.7.e). Ceci donne une représentation assez précise près du cercle d'horizon, avec une déformation importante aux grandes altitudes. Un autre problème est que le point de zénith est étiré dans une ligne de la même longueur que le cercle d'horizon. Pour ces raisons, cette projection est rarement utilisée. Cependant, sont

³ Plusieurs programmes informatiques courts peuvent être employés pour produire d'un tel diagramme pour n'importe quelle latitude et peuvent également être utilisés pour la conception d'ombrage. A titre d'exemple, **ShadeDesign** décrit dans (Szokolay, 2007, p19-21).

usage permet de résoudre les problèmes d'apport énergétique. (Szokolay, 2007; Miguet, Paule, 2010).

II.2.2.2. Diagrammes solaires multilatitudes

Mis au point par le Dr. G.B. Kuba de l'université de Khartoum⁴, ces diagrammes permettent, à l'aide de sept figures, de connaître les azimuts, hauteurs et temps solaires, ainsi que les angles d'ombre pour toute latitude et saison. Par contre, ils ne permettent pas les études directes de durée d'insolation et de facteur d'obstruction. (Miguet, Paule, 2010)

II.2.2.3. Le Girasol

Un autre exemple, proposé par le CRMAA (1979), offre une représentation des trajectoires apparentes du soleil applicable pour tous les lieux terrestres. Il est obtenu par une projection stéréographique de la sphère locale et équatoriale ; le point de vue est placé à l'Est sur le cercle horizon, le point de visée étant la direction Ouest, et le plan de vue perpendiculaire à l'axe de vue est le plan méridien Nord -Sud. Le Girasol se présente sous la forme d'un support opaque sur lequel pivote un disque transparent. Sur le support sont représentées les courbes des altitudes et azimuts. Cependant, Le disque transparent visualise les courbes solaires autour du 21 de chaque mois et les arcs horaires de 0 à 24 heures. La lecture est immédiate; ayant positionné la latitude en pivotant le disque transparent sur le support et choisi une position solaire à partir d'une date et d'une heure solaire, il suffit de lire, dans le repère local, la hauteur et l'azimut du soleil correspondant. (Siret, 2007 ; CERMA, 2012)

II.2.2.3. Les gnomons

Le gnomon est originellement le stylet vertical portant ombre sur une table plane d'inclinaison quelconque. Par extension, le gnomon représente le tracé des lignes définies au cours du temps par l'ombre mobile de la pointe du stylet sur la table. (Fig.2.7.f). Autrement dit, il est déterminé comme la perspective sur un plan horizontal de la course du Soleil, le tableau et la vue mise en perspective étant situés de part et d'autre du point de vue qui est la pointe du gnomon. Géométriquement, les lignes que décrivent l'ombre portée de l'extrémité d'une tige verticale sur une table correspondent à la projection perspective conique des trajectoires apparentes du soleil au point terrestre considéré (Siret, 2007 ; Szokolay, 2007 ; Miguet, Paule, 2010)

⁴ Pour en savoir plus, consultez le cahier du CSTB n_1135.

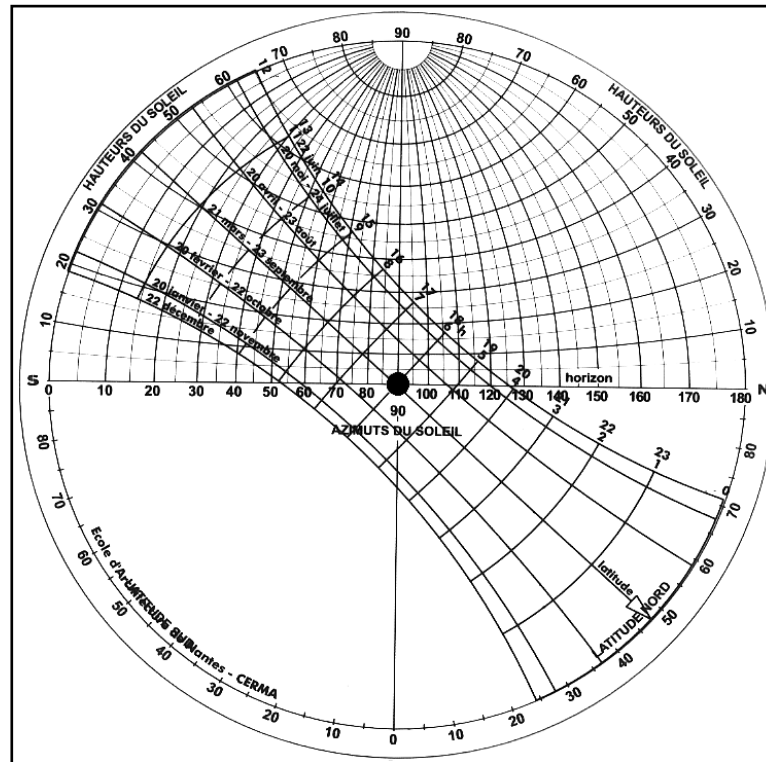


Figure 2.8. Le Girasol (CRMAA 1979).
Source : Siret, 2007, p 82.

II.2.2.4. Les masques solaires :

La quantité d'énergie reçue en un endroit dépend souvent de l'ombrage des bâtiments voisins. En hiver, dans les villes de basses latitudes telles que les villes du Nord Algérien, la hauteur du soleil est faible. Tous les masques de l'environnement qui interceptent le soleil pendant cette période, peuvent gêner l'utilisation efficace de l'énergie solaire et la lumière naturelle. La végétation peut aussi réduire l'exposition d'un bâtiment au soleil. Les arbres à feuilles caduques sont particulièrement intéressants sur le plan du contrôle solaire puisqu'ils perdent leurs feuilles en automne et qu'elles repoussent au printemps, ce qui permet de profiter de la lumière naturelle en hiver tout en créant un ombrage en été. (Liébard, De Herde, 2005) Comme définition, on peut dire que tout objet naturel ou construit pouvant faire obstacle au soleil est un masque solaire.

Dans un milieu urbain, les masques solaires peuvent jouer un double rôle, positif si le concepteur cherche une protection contre le soleil : c'est le cas caractérisant les villes dans le climat aride, où l'étroitesse des ruelles et la hauteur des bâtiments réduisent considérablement le rayonnement direct et fournissent un ombrage bienvenu, et négatif si les bâtiments voisins masquent le soleil alors qu'on souhaite bénéficier d'apports solaires.

L'évaluation complète des obstacles du faisceau direct d'un site est un problème qui implique plusieurs dimensions spatiales et temporelles. La variation de distance des obstacles est l'un des facteurs spatiaux les plus importants, car son impact sur les changements angulaires d'obstructions à différents points sur le site est remarquable. Les obstacles peuvent être classés selon leur distance en : lointains, à une distance moyenne et proches :

Les obstacles lointains : sont généralement les montagnes et les collines ainsi que les bâtiments d'une hauteur gigantesque tels que les gratte-ciels. Ils peuvent bloquer totalement le soleil sur toute une zone de constructions. Ils peuvent être facilement traités par une représentation graphique d'obstructions pour l'ensemble du site, en utilisant les mêmes angles d'obstructions à tous les points de vue.

Les obstacles à distance moyenne : Sont principalement les bâtiments et les arbres adjacents (voisins) qui peuvent obscurcir une partie de la façade d'objet d'étude. Leur impact géométrique peut être évalué par une série d'études graphiques à une gamme de points qui représentent généralement l'emplacement des fenêtres.

Les obstacles à proximité (proches) : comme les dispositifs d'ombrage attachés au bâtiment, les décorations des façades et les arbres très proches. Ils sont mieux traités géométriquement par des techniques qui présentent une perspective dont le point de vue est le soleil ou par projection des angles d'ombre en utilisant des plans et des sections détaillés. (*Goulding, et Al, 1986*). Notons que dans cette étude (c'est-à-dire l'étude d'ensoleillement dans un environnement urbain), on prend en considération que les deux premiers types d'obstacles. L'impact des obstructions proches est négligé à cette échelle.

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer précisément les périodes pendant lesquelles le rayonnement solaire se trouve intercepté par un obstacle avant d'atteindre le bâtiment. La plus utilisée dans le domaine éducatif est la superposition du diagramme solaire (résultat de la projection sphérique équidistante) et de la photo *fish-eye*⁵. C'est une procédure relativement simple permet d'obtenir les masques existant sur un site sans avoir à effectuer de fastidieux relevés. La figure 2.9 montre un environnement dans lequel le potentiel solaire direct est relativement réduit. La surface matérialisée en jaune sur le diagramme représente les périodes effectives d'ensoleillement du site tout au long de l'année. (*CETE, 2005*)

⁵ Une photo "fish-eye" est une photo prise à l'aide d'un objectif ultra grand-angle permettant des prises de vue à 180° de champ. Prise en lieu et place du futur bâtiment, elle représente donc une projection sphérique du site réalisée par un observateur regardant le zénith (couché sur le sol).

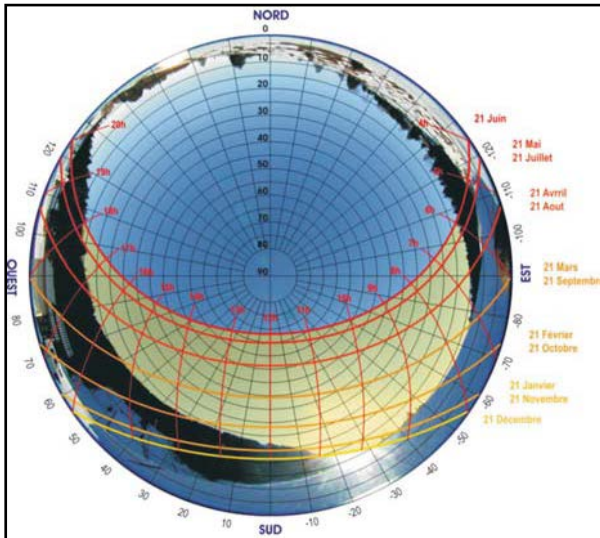


Figure. 2.9. Procédure d'évaluation de l'ensoleillement direct d'un site : superposition du diagramme solaire et de la photo *fish-eye*.

Source : (CETE, 2005)

II.3. METHODES DE SIMULATION DE L'ENSOLEILLEMENT :

Pour parvenir à répondre à des questions de l'ordre de l'optimisation de dimensionnements (de protections solaires principalement) ou de la recherche de durées annuelles d'ensoleillement en un point, De nombreux méthodes et outils ont été proposés dans le domaine de la simulation solaire pour l'architecture et l'aménagement urbain. Danièle Siret écrit : « *Fondée dans une perspective d'évaluation technique, la simulation fournit le plus souvent des résultats chiffrés, éventuellement transformés dans une expression graphique, [...] qui s'applique avant tout sur des entités spatiales et sur les agencements de ces entités, leurs rapports, relations, superpositions, imbrications, etc* ». (siret, 2002, p1). Elle a proposé un classement de méthodes de simulation direct de l'ensoleillement en trois groupes : (Siret, 2007)

- **Les méthodes graphiques** qui mettent en œuvre les techniques de projection géométrique au trait en deux dimensions,
- **Les méthodes analogiques** qui reproduisent par des dispositifs mécaniques ou optiques les positions relatives de la Terre et du soleil et l'ensoleillement résultant,
- **Les méthodes numériques** qui utilisent les procédures de la géométrie algorithmique et de la synthèse d'image.

Dans notre démarche, on va fournir un aperçu sur les méthodes citées ci-dessus, et nous ajoutons un état de l'art de quelques méthodes numériques permettent la simulation de l'ensoleillement en 2D, dans un premier temps, ensuite son évolution en 3D.

II.3.1. Méthodes graphiques

Elles exercent la simulation de l'ensoleillement en mettant à profit les propriétés géométriques des différents abaques et diagrammes solaires. On distingue deux processus pour ces méthodes : le tracé des ombres à un instant (détermination des zones ensoleillées) et le tracé des masques en un point (détermination des périodes d'ombrage). (Siret, 2007).

II.3.1.1. Le tracé des ombres

Il permet la projection sur le plan du sol, dans une représentation plane, des objets étudiés pour une direction correspondant au rayon solaire à l'instant considéré. La figure 2.10 montre ainsi l'épure de l'ombre portée au sol par un volume simple, pour une date et un instant donnés. Constatons que la détermination de l'ombre s'effectue dans n'importe quel plan de projection avec les méthodes classiques de rabattements mises en œuvre par la géométrie descriptive. A propos, le diagramme solaire MT (Twarowski 67) simplifie encore les constructions puisque pour une date et une latitude fixes, il permet de se dispenser de l'élévation en effectuant un simple report des hauteurs. L'ombre est alors construite en autant de tracés que de hauteurs différentes (figure 2.11). (Siret, 2007).

II.3.1.2. Le tracé des masques

Si l'on superpose les masques ainsi figurés et les trajectoires solaires apparentes, on détermine les périodes où des ombres seront portées sur le site. (cf. § II.3). Toutes les représentations des trajectoires solaires peuvent être utilisées pour le tracé des masques, la seule condition c'est se qu'elles peuvent représenter à la fois, l'environnement et la trajectoire du soleil. A l'aide de deux documents graphiques, les plans et les élévations, la projection stéréographique est également utilisée pour le tracé des masques. Outre la lecture des périodes d'ensoleillement en un point, elle offre en effet la possibilité d'ajuster facilement, de manière graphique, les gabarits d'objets en cours de définition dans le cadre du projet. (Siret, 2007)

Plusieurs outils numériques permettent aussi de tracer les masques dus à l'environnement. Certains sont définis dans les parties qui suivent (cf. § II.3.3).

II.3.2. Méthodes analogiques

Il est possible d'étudier les caractéristiques solaires d'un site sans passer par des relevés et des dessins fastidieux : Pour des études d'ensoleillement d'ensemble de volumes architecturaux complexes, il est plus rapide de mener des études sur une maquette plutôt que sur des graphiques. Il suffit d'éclairer la maquette par un projecteur équipé d'une lampe, placée à six

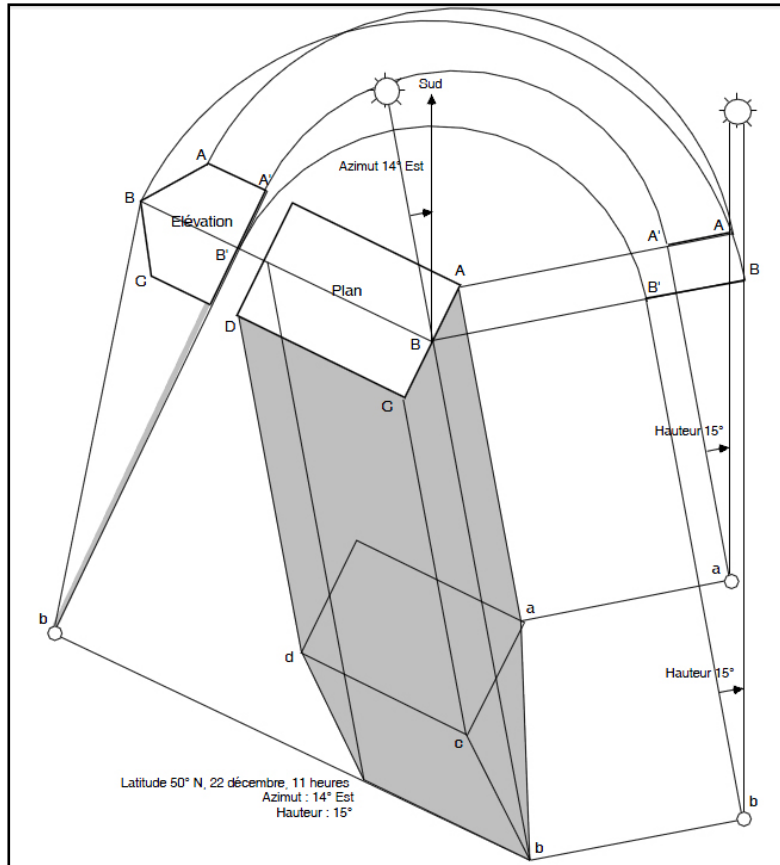


Figure 2.10. Tracé des ombres portées en dessin géométral.
 Source : Siret, 2007, p8.

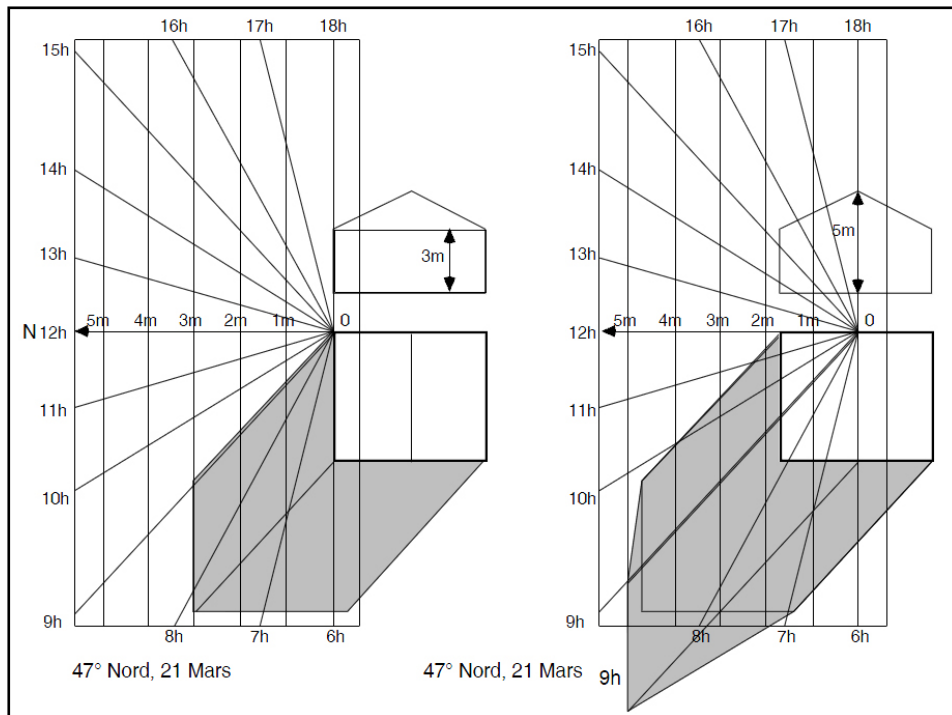


Figure 2.11. Tracé des ombres à l'aide du diagramme solaire MT
 Source : Siret, 2007, p87

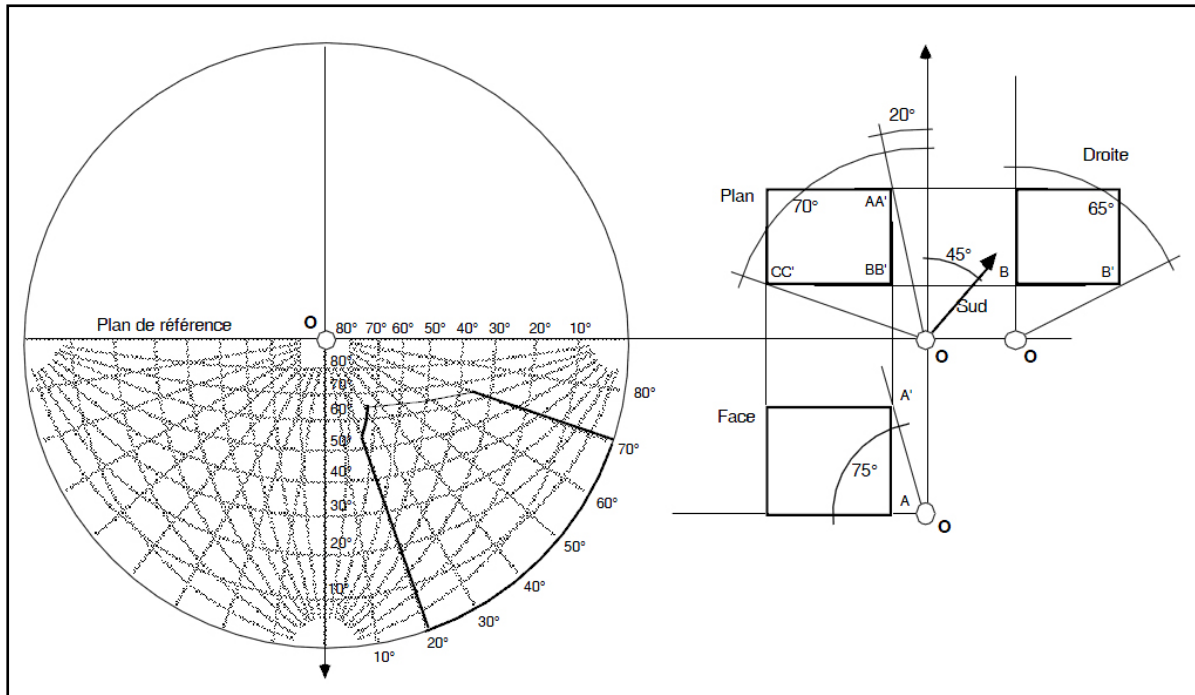


Figure 2.12. Construction d'un masque sur le diagramme angulaire
Source : Siret, 2007, p89.

ou huit fois la plus grande dimension de la maquette, permet de négliger la divergence des rayons. Plusieurs systèmes ingénieux ont été construits. Ils permettent à la fois la représentation des ombres (l'héliodon) et la celle des périodes d'ensoleillement (l'horizontoscope).

II.3.2.1. L'héliodon :

Il existe des appareils dénommés héliodons. Il s'agit d'un dispositif, constitué d'une source lumineuse émettant des rayons lumineux parallèles, simulant les rayons solaires et leur inclinaison au cours du temps. Le réglage de l'héliodon permet de fixer la latitude, la date et l'heure à considérer. Le site ou la construction à simuler est représenté par une maquette de la volumétrie du projet qui est exposée aux rayons lumineux de l'héliodon, les ombrages sont alors immédiatement visibles sur les différents plans de la maquette. Un inconvénient de ce dispositif est qu'il ne permet pas d'utiliser des maquettes d'étude comportant des éléments mobiles ou interchangeables qui risqueraient de tomber pour des inclinaisons couramment utilisées dans nos pays. La figure 2.13 illustre schématiquement le dispositif mis au point par le Laboratoire d'Énergie solaire et de Physique du Bâtiment de l'EPFL. (*Miguet, Paule, 2010*).

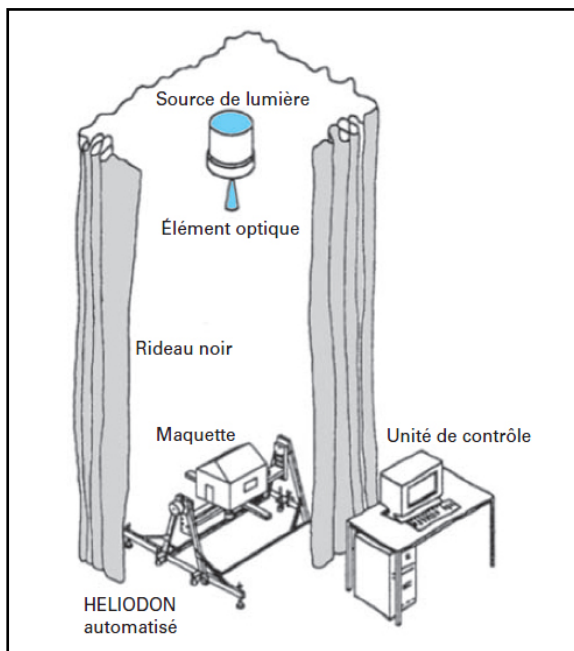


Figure 2.13. Description schématique de l'héliodon du LESO-PB à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.
Source : (Miguet, Paule, 2010, p12)

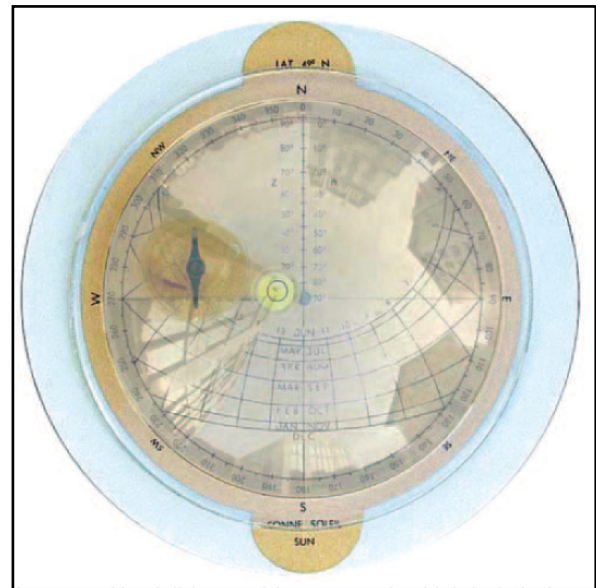


Figure 2.14. Horizontoscope de Tonne.
Source : (Miguet, Paule, 2010, p14)

II.3.2.2. L'horizontoscope

L'horizontoscope de Tonne est un outil de terrain. Il fut mis au point à l'Institut *für Tageslichttechnik* de Stuttgart dans les années 50. Un dispositif extrêmement maniable offrant l'avantage de pouvoir être exploité sur le site sans appareil photo. En combinaison avec des abaques solaires, systèmes également développés par le même institut, l'horizontoscope permet de déterminer visuellement la durée d'ensoleillement pour toute l'année à un point d'analyse donné. Il prend en compte les masques existants (bâtiments, terrains, végétation).

Ce dispositif fonctionne pour une latitude fixe, il comporte un socle, des diagrammes circulaires, et une coupole transparente. Grâce à un niveau lié à la coupole, on peut caler horizontalement le socle. A l'aide d'une boussole, il faut orienter les diagrammes placés entre socle et coupole. Les reflets de l'environnement sur la coupole se projettent alors visuellement sur le diagramme situé au-dessous. Un observateur regardant verticalement l'horizontoscope effectue la lecture directe des périodes d'ombrage et d'ensoleillement du point considéré. Les diagrammes fournis avec le dispositif permettent d'étudier le facteur de ciel, les durées d'insolation et les puissances reçues. (Miguet, Paule, 2010 ; sired, 2007)

II.3.3. Méthodes numériques (outils informatiques)

La plupart des problèmes solaires reposent sur la résolution de problèmes géométriques. Il est donc possible, et de plus en plus courant, d'automatiser leur résolution et de construire des outils numériques prenant en charge tel ou tel problème spécifique. Les chercheurs dans ces dernières années ont développé de nombreux outils informatiques afin de faciliter la prise en compte de la dimension solaire dans le contexte architectural. Que ce soit pour la construction neuve ou la rénovation, ces dispositifs envisagent une évolution forte de la demande d'outils d'évaluation et de contrôle de la part des architectes et des bureaux d'étude. (Miguet, Paule, 2010)

On peut différencier ces outils en deux catégories : Les outils simplifiés sont, pour la plupart, à vocation didactique et, donc, relativement faciles à aborder. Ils sont utilisés de manière directe pour calculer l'ensoleillement d'une pièce ou d'une rue, en plan ou en coupe, mais peuvent être utilisés de manière inverse pour dimensionner des dispositifs solaires ou pour adapter l'ensoleillement en un point à partir de ses périodes solaires et de son environnement. Les outils complexes et les logiciels de simulation, particulièrement, celles de la géométrie algorithmique et de la synthèse d'image qui permettent la connaissance exact des états d'ensoleillement d'une maquette numérique et offrent en plus de nouvelles possibilités de croisement et de traitement analytique des résultats. (HOUPERT, 2003 ; Miguet, 2010 ; Siret, 2007)

II.3.3.1. Méthodes simplifiées

Les approches simplifiées sont de deux types : outils de constitution de données et outils de simulation simple :

II.3.3.1.1. outils de constitution de données

Ce sont des outils numériques développés généralement par des laboratoires de recherche, permettent d'obtenir rapidement des informations élémentaires sur le soleil en fonction de la latitude, du lieu et de la date de l'année et récupérer toutes les données solaires que peut fournir les méthodes graphiques. (cf. § II.2) (Miguet, Paule, 2010).

Afin de faciliter l'accessibilité pour l'ensemble des concepteurs de l'énergie solaire, ces outils de calcul ont été mis en ligne. Plusieurs sites internet ont été conçus pour cette raison, par des sociétés ou individus militants dans les domaines de la conservation de l'énergie et de

l'utilisation de l'énergie solaire⁶. Ou par des laboratoires de recherche dans les établissements d'éducation⁷.

En entrée pour les outils de constitution de données, l'utilisateur définit dans une fenêtre les données du temps (date) et du lieu (latitude). Les données horaires sont généralement exprimées en Heures Solaires (TSV). Des informations sur le lieu sont immédiatement recueilli, comme la durée du jour, la déclinaison, les données du lever et coucher (en azimut et en heures) ainsi que plusieurs graphiques et vues indiquent la trajectoire solaire et les secteurs angulaires couverts par cette dernière dans la journée spécifiée.

II.3.3.1.2. outils de simulation simple

Se sont des processus de simulation ne convenant qu'à des géométries extrêmement simplifiées, souvent prédéfinies d'ailleurs : pièces rectangulaires avec ouvertures paramétrables, dispositifs de protection simples (débord de toit, écrans horizontaux ou verticaux, lamelles, etc.). (Miguet, Paule, 2010). Parmi ces outils issus de la recherche scientifique, certains sont très aboutis puisqu'ils sont disponibles depuis quelques années déjà et téléchargeables depuis le site internet des laboratoires qui les ont développés. C'est le cas du logiciel *Shading Analyser* développé à l'Université de Californie du Sud (MBS Laboratory – Los Angeles, USA) (Houpert, 2003). C'est notamment le cas de l'outil en ligne *Audience* développé par le CERMA⁸. Cet outil permet entre autres :

- de construire différents types d'abaques et de diagrammes solaires pour diverses latitudes ;
- d'obtenir des informations d'enseulement et d'énergie solaire pour un récepteur plan d'inclinaison et d'orientation quelconque (flux direct, diffus et global incident) ;
- d'évaluer les protections solaires placées devant un vitrage. En combinant divers types d'écrans, l'utilisateur peut composer un brise-soleil particulier. Le programme évalue ensuite l'efficacité de la protection sous forme d'un facteur de masque et d'une valeur de flux solaire transmis ;

⁶ A titre d'exemple, les sites : http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr et <http://astro.unl.edu/classaction/browser.html>

⁷ Ajoutant comme exemple le programme européen d'autoformation à distance « *audience* » développé par six partenaires représentant trois pays européens, regroupant organismes de recherche, organismes professionnels et agences d'architectes. accessible à travers le lien suivant :

http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/outils/info_solaire.html

⁸ Consultable à l'adresse : http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/outils/diag_solaire.html

- de tester rapidement l'efficacité des brise-soleil, constitués de lames parallèles d'inclinaison et d'espacement variables. (Miguet, Paule, 2010)

II.3.3.2. Méthodes complexes

C'est les méthodes qui utilisent la simulation 3D de l'ensoleillement. Elles existent au moins depuis 1962, date à laquelle fut publié l'ouvrage de M. Twarowski, *Soleil et Architecture* (dans Houpert, 2003). Dans ses *courbes de niveau solaires*, les trois dimensions de l'espace sont prises en compte ainsi que la dimension temporelle. Quelques années plus tard, plusieurs outils sont développés dans ce sens; signalons les logiciels de simulation solaire *SOLENE* développé au Cerma et *TOWNSCAPE* mis au point au Lema qui permettent de gérer, à l'échelle d'un bâtiment ou d'un ensemble urbain, les problèmes d'ensoleillement et de masque solaire. Se sont des outils très évolués permettent de traiter les scènes aux géométries plus complexes tout en fournissant des informations plus précises et de nature plus variée. « Ils permettent, par exemple, de comparer différentes dispositions architecturales ou urbaines, d'évaluer l'impact d'un nouvel édifice sur l'existant (droit au soleil), etc. Ils nécessitent un modèle géométrique 3D des espaces à simuler, qui peuvent être quelconques (site urbain, pièce intérieure, dispositif de protection, etc.). Ils sont, en général, discrétisés sous la forme de facettes polygonales au centre desquelles est calculée l'information requise ». (Miguet, Paule, 2010, p20).

Ces logiciels permettent de répondre à de nombreux questionnements, parmi lesquels : les tracés d'ombre et durées d'ensoleillement, l'évaluation de l'énergie solaire incidente sur les facettes du projet en prenant compte les états de ciel, les multi-réflexions solaires, l'évaluation de l'éclairage naturel direct et indirect, les problèmes de rayonnement thermique tenant compte des deux types de spectre, solaire et thermique et même encore les problèmes liés à la visibilité et au confort visuel. (Miguet, Paule, 2010)

Les résultats des simulations peuvent être numériques (c-à-dire des chiffres qui représentent les quantités à chercher) ou visuelles (à travers des images). Deux approches de synthèse d'image⁹ sont utilisées afin de les reproduire, à savoir : la technique de lancer de rayons (*ray tracing*) et la technique de radiativité. Ces deux approches seront brièvement présentées dans les paragraphes suivants.

⁹ La synthèse d'image est une grande zone de recherches dans le domaine d'infographie. Elle a pour but la création assistée par ordinateur d'images numériques. Son but est de développer les algorithmes qui peuvent créer des images qui sont proche de la réalité à partir des descriptions de scène.

II.3.3.2.1. La technique de lancer de rayons (*Ray tracing technique*)

La lancé de rayons est un sujet qui a été largement abordé et qui permet de générer des images de synthèse avec un rendu excellent. C'est une technique de rendu en synthèse d'image simulant le parcours inverse de la lumière de la scène vers l'œil. (Fig. 2.15). Elle consiste à lancer de multiples rayons dans une scène à partir d'un point fixe (caméra). À chaque impact du rayon sur un objet de la scène la couleur renvoyée par l'objet touché est calculée. Cette couleur (luminance) est calculée en fonction de différents facteurs : propriétés physiques de l'objet touché, sources lumineuses éclairant l'objet, transparence, ...etc. On utilise le parcours inverse parce que, avec le parcours de rayons lumineux dans la réalité, les rayons de lumière partent des sources lumineuses et se dirigent vers notre œil, mais la plupart de rayons lumineux n'entrent pas nos yeux donc ne contribuent pas à la synthèse de l'image. C'est pourquoi on effectue l'algorithme en sens inverse de la réalité des parcours des rayons lumineux. (Michelet et al, 2011 ; Mignot, 2003 ; Minh, 2005)

L'algorithme base de lance de rayons, est un algorithme récursif. Sa démarche consiste tout d'abord, à calculer la lumière ou l'ombre en point d'intersection (modèle de lumière et d'ombres). Pour ça on a besoin de la normale au point d'intersection et du rayon réfléchi. Pour chaque pixel de l'écran, un rayon sera envoyé depuis le point d'observation. Dès la première surface atteinte, le rayon sera soit réfléchi, soit transmis si la surface est transparente, et des rayons seront envoyés vers les sources lumineuses afin de déterminer si le point d'impact est à l'ombre ou non. Après avoir calculé la lumière en ce point, on relance le rayon réfléchi en ce point d'intersection et on calcule les prochaines intersections et leur lumière/couleur, qui contribuent à la couleur du point de la première intersection. (Michelet et al, 2011 ; Mignot, 2003 ; montavon, 2010)

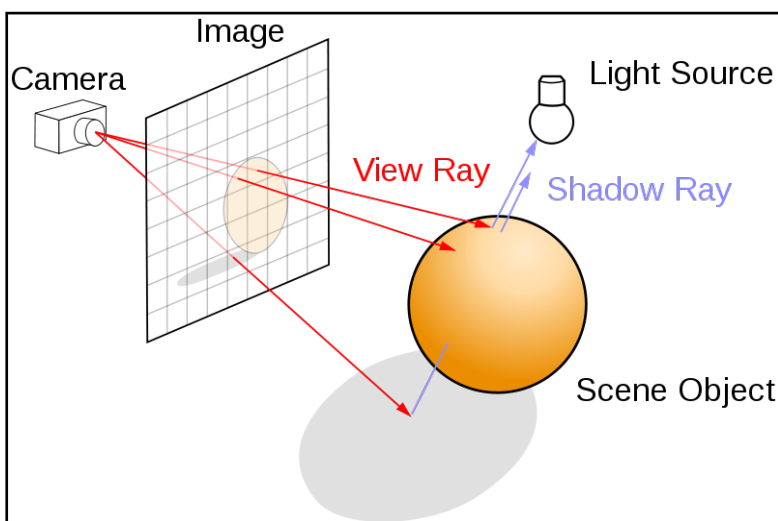


Figure 2.15. Technique de synthèse d'image : Lancer de Rayons

Source : site internet [en ligne]

URL :

[http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_\(graphics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_(graphics)) consulté le 23 Mars 2013

Le lancer de rayons est une technique très utilisée dans la synthèse d'images en vue de ses divers avantages: une technique qui se met en œuvre facilement, elle garantit un rendu image réalistes de très bonne qualité et un modèle d'illumination globale. De plus c'est une technique utilisée principalement pour introduire des effets d'optique comme les ombres, les réflexions (miroir), les réfractions, la brillance,... etc.

Par contre, l'utilisation de cette technique implique plusieurs inconvénients : Tout d'abord, le temps très élevé de calcul et cela rend impossible son utilisation dans les applications du temps réel et dans l'animation. Un autre gros problème, c'est que le lancer de rayons n'est pas approprié au calcul des réflexions diffuses, les ombres sont trop « nets » dans les images et ne reflètent pas la réalité. (Minh, 2005)

II.3.3.2.2. La technique de radiosité :

En 1984, les chercheurs chez *Fukuyama* et les universités d'*Hiroshima* au Japon et au programme de l'infographie à l'université de *Cornell* aux Etats-Unis ont commencé à appliquer des méthodes de radiosité à partir du champ du transfert de chaleur rayonnante à la synthèse d'image. (Minh, 2005).

La radiosité est une technique de calcul d'éclairage (ou illumination) d'une scène 3D. Elle permet de calculer l'éclairage d'une scène en modélisant les échanges d'énergie lumineuse entre les différentes surfaces des objets de la scène. Elle utilise les formules physiques de transfert radiatif de la lumière entre les différentes surfaces élémentaires composant la scène. Dans la méthode de radiosité standard, les surfaces sont considérées comme source de lumière diffuse, c'est-à-dire qu'elles réfléchissent la lumière incidente avec la même intensité dans toutes les directions. L'environnement est décomposé en éléments de surface (ou échantillons), afin d'établir un système d'équations modélisant les échanges d'énergie dans la scène. La radiosité d'un élément de surface est supposée constante et la précision de la solution obtenue dépend donc de la discrétisation de l'environnement. Cette technique est dite *globale* car l'illumination de chaque surface élémentaire ne peut être calculée séparément des autres, et le système modélisant l'ensemble des transferts ne peut être rendu que globalement. (Orti, 1997 ; Minh, 2005 ; Montavon, 2010 ; wikipedia¹⁰)

L'algorithme de la radiosité est basée sur une hypothèse que: Tout objet d'une scène émet certaines radiations électromagnétiques le rendant lumineux et coloré et donc visible. Cette valeur (la radiosité) est la somme de deux composantes: une énergie émise intrinsèquement,

¹⁰ Site internet, [en line] URL : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Radiosit%C3%A9>

une énergie générée par réémission d'une partie des radiations reçues en provenance des autres objets présents dans la scène. Ainsi, après une infinité de réémissions successives des objets les uns sur les autres, un équilibre énergétique s'établit à l'intérieur de la scène. (Fig.2.16). les étapes de l'algorithme sont illustrées comme suite : (Minh, 2005)

- Discrétisation de la scène en un ensemble de n surfaces.
- Calcul, pour chaque couple de surfaces à l'intérieur de la scène, de la fraction d'énergie qui émise par la première sera réceptionnée par la seconde (*facteur de forme*).
- Constitution d'un système de n équations linéaires à n inconnues où les n inconnues sont les quantités d'énergie émises par chaque facette.
- Résolution de ce système d'équations linéaires.
- Affichage final par un algorithme d'élimination des parties cachées classique (ZBuffer ou ray casting).

Une des avantages de radiosité, c'est qu'elle donne des images synthétiques plus réalistes que celles du lancer de rayons. Un autre avantage c'est qu'elle est indépendante de la position de l'observateur. On n'a pas à recalculer l'équilibre si on effectue un déplacement de l'observateur à l'intérieur de la scène. Tant que la scène n'est pas modifiée, les calculs d'animation sont extrêmement rapides. De plus, son concept est simple et naturel. A l'opposé, elle prend plus de temps surtout dans la phase de calcul de facteur de forme. Un autre inconvénient, celui de l'obligation de tout recalculer si un objet dans la scène bouge. Cela est du aux changements de direction et intensité des flux diffusés. De plus, cette technique ne prend pas en charge les réflexions spéculaires, ni la transparence.

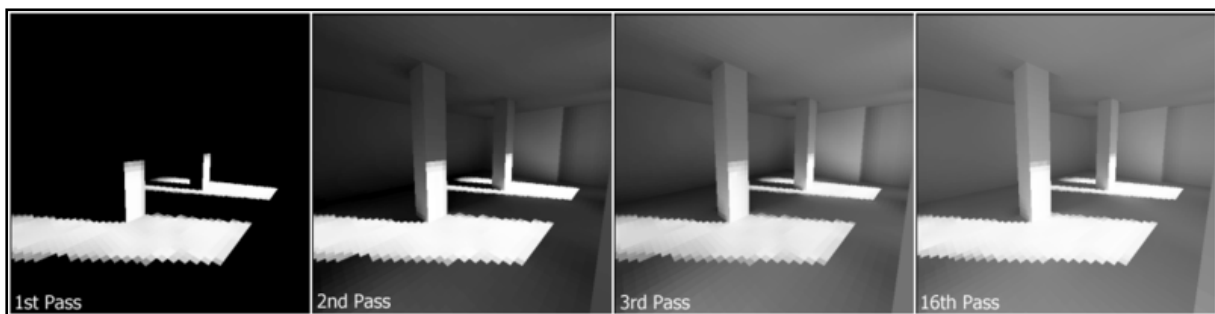


Figure 2.16. Le progrès de l'algorithme de radiosité.

Source : site internet [en ligne] URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity_\(computer_graphics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity_(computer_graphics)) consulté le 23 Mars 2013

II.4. CONCLUSION :

Nous avons présenté dans la première partie de ce chapitre, en premier lieu, l'aspect géométrique du soleil. Nous avons démontré la nature de relation physique qui existe entre notre planète (la terre) et cette source d'énergie inépuisable (le soleil) et comment cette relation est la cause directe des variations des rythmes perçus depuis notre emplacement fixe, on parle de la variation journalière (jour/nuit) et saisonnière (printemps, été, automne, et hiver). Ensuite, on s'est concentré sur les représentations existantes de ce mouvement nommé *trajectoire solaire*. On a vu que la trajectoire solaire peut être tracée sur une sphère céleste locale à l'aide de deux angles : l'altitude et l'azimut qui changent en fonction de deux paramètres : temporaire (heure, jour et mois) et spatial (latitude du lieu).

La connaissance de la position du soleil dans le ciel à tout instant est nécessaire pour bien comprendre la façon qu'influence le soleil sur le choix et le traitement d'un site. Cette information est indispensable pour le calcul des apports solaires, pour le choix de l'exposition d'un immeuble et l'emplacement des fenêtres, l'aménagement des parties extérieures voisines, la disposition des pièces intérieures, la position des capteurs solaires,...etc.

La représentation graphique de la course du soleil constitue un moyen pratique pour repérer le trajet du soleil à travers le ciel et les masques éventuels. Cette représentation peut être réalisée à l'aide de plusieurs outils, à savoir, les abaques, les diagrammes solaires et les gnomons.

Pour une utilisation optimale de l'énergie solaire à un endroit, il faut non seulement connaître le schéma de site, mais aussi déterminer la quantité d'énergie solaire bloquée par les obstacles existant sur le site. Il faut donc relever les masques à l'endroit où l'on désire implanter l'installation solaire. Pour ce faire, on peut se servir de plusieurs outils de simulation: graphique analogique et numérique. C'est la question que la deuxième partie de ce chapitre a tenté d'éclaircir. Nous avons présenté un état de l'art des méthodes de simulation de l'ensoleillement permettant de répondre à la question de repérage des zones ensoleillées et celles à l'ombre, à un instant donné, et à un endroit précis. Les techniques de l'informatique restent de loin les plus efficaces dans la représentation et la détermination instantanée des données d'ensoleillement en 2D ou en 3D.

Les logiciels de simulation 3D sont plus adaptés à la prise en compte globale des contraintes d'ensoleillement ou de visibilité. Ils correspondent à la dernière génération d'outils de simulation solaire. Ce sont des outils qui tendent vers la simulation réaliste de la lumière naturelle grâce à des images générées par des techniques de synthèse d'images. Nous nous

sommes limités à présenter deux de ces techniques : la technique du lancer de rayons et la technique de radiosité. D'autres techniques hybrides ou mixtes existent et utilisent d'avantages des deux méthodes illustrées.

On peut conclure qu'afin de concevoir correctement l'enveloppe d'un bâtiment dans un milieu urbain, il est nécessaire de connaître à tout moment l'énergie solaire effectivement reçue par celle-ci. Cette dernière (l'énergie solaire) est influencée par la latitude de lieu, les conditions du ciel, le climat et plusieurs autres facteurs liés à la forme urbaine. C'est ces facteurs qu'on va essayer de débattre dans le chapitre suivant.

Chapitre 03,

Effet de la forme urbaine

Sur l'irradiation solaire.

III.1.INTRODUCTION :

Les considérations solaires jouent un rôle très important pour la détermination de la géométrie urbaine. L'ensoleillement apparaît, plus que tout autre phénomène, comme 'générateur de formes' du projet architectural et urbain. A une échelle urbaine, l'ensoleillement possède une forte autorité sur les formes et rend périlleuse toute tentative d'optimisation. Une des questions les plus fondamentales dans les règlements des planifications urbains est comment assurer un accès commun au soleil ainsi qu'une lumière naturelle suffisante, au contraire des individus qu'ils cherchent généralement à profiter le maximum de ce qui est disponible.

Ce chapitre vise à définir la forme urbaine ainsi que ses caractéristiques qui détermineront le bilan d'énergie solaire local afin de bien comprendre leur contribution comme solution passive dans la réduction de la consommation énergétique. Nous allons démontrer par de nombreuses recherches l'effet des caractéristiques géométriques et physiques de la forme urbaines sur l'ensoleillement de l'enveloppe. Commenant par l'effet de la forme de bâtis, ensuite on va discuter le rôle que jouent l'orientation et les proportions des rues et des cours et enfin suivre l'influence de l'organisation du plan urbain et la question de la densité.

Dans l'étude de chaque paramètre ou caractère de la forme urbaine, nous essayerons de nous référer –lorsque c'est possible- à une ou plusieurs études où l'effet de l'élément objet d'étude a été évalué dans une latitude moyenne proche à celle de Batna, lieux de notre cas d'étude. Le chapitre dans ses parties d'état de l'art va se référer rigoureusement au travail de Ph.D. de Dr. Amina Harzallah (*cité dans Montavon, 2010*) dont elle résume les orateurs qui ont développé des théories urbaines et architecturales au sujet des préconisations solaires entre 1753 et 1954. De plus, on va présenter un petit aperçu sur quelques nouvelles recherches qui ont été éditées avant 2011.

A la fin de chapitre, on va essayer de définir les indicateurs morphologiques (facteurs, coefficients, profils...etc.) ayant un impact direct sur l'ensoleillement à l'échelle urbaine que seront servis les chapitres qui suivent, spécialement la partie expérimentale.

III.2.LA FORME URBAINE : SENS ET USAGE DU TERME :

Le débat sur la 'forme urbaine' est un thème d'actualité. La notion de forme urbaine présente un spectre de significations extrêmement large, elle peut être saisie de différents aspects. Les formes urbaines traduisent aussi des représentations contrastées marquées par l'interférence des modèles sociaux et architecturaux (Dris, 2005).

Par la suite, on va essayer de suivre l'émergence ainsi que de regrouper quelques définitions et significations relative au terme en question, en mettant l'accent toujours sur les bases conceptuelles dont on a besoin au chapitres qui suivent.

« *Le terme forme urbaine a été introduit dans les années 1970 à la suite de l'étude typologique de Venise de Muratori (1959) et de l'étude typo-morphologique de Padoue conduite par Aymonino et al* » (Raynaud, 1999, p93). Dès le départ, Ce terme n'a pas de définition précise et peut être saisie de différents aspects malgré qu'il est employé couramment dans des différentes disciplines, que ce soit l'urbanisme, la géographie, l'architecture ou encore la sociologie urbaine. Burgel a écrit : « *pénétrer dans l'univers des formes urbaines fait entrer dans un monde flou, où se côtoient les constructions matérielles, les pratiques concrètes, les représentations des habitants et les idéologies des concepteurs* » (Raynaud, 1999, p97). Selon Raynaud, cette complexité et ces transformations sémantiques du mot forme urbaine est dû a trois explications différentes :

« **La transformation résulte des limites de toute communication humaine** : la multiplication des transmissions élémentaires sur une longue chaîne suffit à expliquer que les déviations infimes au départ, puissent occasionner à terme de grands écarts, par le seul cumul des pertes successives.

La transformation est induite par une optimisation du rapport effort / effet cognitif : tous les locuteurs qui sont amenés à parler de forme urbaine ont été formés dans un cadre disciplinaire spécifique, la compréhension de cette notion dépend directement de notre capacité à la relier au stock des connaissances acquises. Plus concrètement : si les notions de forme et de morphologie sont déjà connues dans un champ, il y a de grandes chances pour que le terme en question soit infléchi en direction de l'acception disciplinaire du mot. Toute compréhension suppose une action transformante des contenus.

Enfin l'emprunt modifiant peut résulter d'une adaptation du message en fonction des valeurs et des intérêts du chercheur : le sens du terme forme urbaine peut être interprété en fonction de l'intérêt, puisque l'usage d'un mot récent peut donner une apparence de nouveauté à un discours des plus conventionnels, et augmenter les chances de publication ou

la notoriété personnelle, tant au sein de la communauté scientifique qu'au sein du public » (Raynaud, 1999, p97).

Reviendrons à la question majeure de cette partie de recherche : existe-t-il enfin une définition ou une signification relative à la forme urbaine ? Ce que nous ont montré les premiers travaux de morphologie, c'est que la forme urbaine n'est jamais une donnée a priori, elle est toujours construite et son étude dépend toujours d'un point de vue de départ, d'un regard porté sur la forme, d'une définition préalable qui en délimite le contour et l'approche, à vérifié ensuite sur le terrain (Lévy, 2005).

Nombreux chercheurs ont essayé d'affronter le problème de complexité lié au sens de la forme urbaine et ont tenté d'adopter une définition. Laurent Viala a écrit : *« Tel est le cadre général offert ici à la réflexion sur le sens des formes urbaines. La réponse formulée s'y conforme, mais elle s'inscrit contre leur déterminisme en la matière pour privilégier le sens de la forme de la ville. » (Viala, 2005, P99).*

En étudiant le cas d'Alger, Nassima Dris (Dris, 2005) nous montre comment les formes urbaines traduisent des représentations contrastées, marquées par l'interférence de modèles, et comment l'espace urbain est une forme d'expression de la société dans sa totalité. Elle signale que si les formes urbaines ont un sens, il faut reconnaître que ce sens est nécessairement pluriel et que la vraie valeur du sens est indéniablement dans son perpétuel changement. En expliquant ce point de vue, Raynaud (Raynaud, 1999) a essayé d'examiner l'étendue de la pluralité par une simple recension non pas des définitions, mais des usages que divers auteurs ont fait de ce mot car la connaissance des usages licites est un instrument commode pour réorienter une notion polysémique :

*« 1) Si la forme urbaine désigne la configuration humaine de la ville, et non celle du cadre bâti, on la nommera **forme sociale (urbaine)**. Au demeurant, ses caractéristiques peuvent être liées à la forme urbaine.*

*2) Si la forme urbaine a une composante mentale non nulle, on pourra la désigner sous le nom générique de **représentation urbaine**.*

*3) Si cette représentation urbaine est l'antécédent causal d'une configuration spatiale de la ville, on peut parler de **modèle urbain** si cette représentation a un caractère exemplaire et reproductible (modèle urbain de la Ciudad linéal), ou de **projet urbain** si celle-ci est dénuée de ce caractère (projet urbain de Brasilia).*

*4) Si cette représentation urbaine est le conséquent causal de la configuration spatiale de la ville, on parlera de **représentation urbaine esthétique** (représentation urbaine des habitants de Boston, par exemple).*

- 5) Chaque fois que la forme urbaine induit un discours normatif, on lui préférera le terme **modèle urbain** (modèle de la ville préindustrielle du XVIII^e siècle, par exemple).
- 6) Si la forme urbaine dérive d'une étude morphologique entendue au sens de classification ou de typologie, on parlera de **type urbain**. Cet usage ne se distingue du modèle urbain, qu'en ce qu'il suppose une approche descriptive et/ou comparative.
- 7) Si la forme urbaine appelle une lecture bidimensionnelle, déterminée essentiellement par son tracé, on emploiera le terme de **plan urbain** (plan bi-axial, radioconcentrique, etc.)
- 8) Si la forme urbaine, en tant que configuration spatiale, résulte d'un acte de conception limité à une partie de la ville, on peut s'y référer en parlant de **composition urbaine** (le trident du palais de Versailles, par exemple).
- 9) Si la forme urbaine est engagée dans la qualification d'une aire urbaine qui présente des caractères d'homogénéité et de continuité, on parlera de **tissu urbain** (tissu médiéval, haussmannien, pavillonnaire, etc.) » (Raynaud, 1999, p113-114)

Selon (Anderson & Al, 1996), le terme peut être utilisé tous simplement pour décrire les caractéristiques physiques de la ville. Dans les grandes villes ou dans une échelle régionale, la forme urbaine est définie comme étant la configuration spatiale des éléments fixes de la ville. (Williams et Al, 2000) a ajouté que le sens de la forme urbaine est en relation avec l'échelle et y'est décrit en tant 'qu'attributs morphologiques d'une surface urbaine dans toutes les échelles'

Dans le cadre de la présente recherche, le sens voulu est celui qui signifie la forme tridimensionnelle d'un groupe de bâtiments ainsi que les espaces qu'ils créent. La raison principale de travailler avec cette façon de voir la forme urbaine est qu'elle nous permet de faire des liens avec les performances environnementales, l'ensoleillement en particulier.

III.3.LA FORME URBAINE ET L'ACCES AU SOLEIL :

Personne ne peut négliger l'utilité de l'irradiation solaire dans l'environnement urbain bâtis ou non bâtis et son influence sur la vie quotidienne des habitants et usagers. Il est par exemple tout à fait naturel et normal que les personnes associent un éventail de facteurs environnementaux et sociaux subjectifs à l'accès solaire perçu. Les bureaux ou les appartements où les fenêtres principales voient peu du ciel peuvent être considérés sombres et sans attrait. Les rues ou les zones avec l'accès solaire très restreint peuvent être perçues comme émaciées ou mornes. Dans les espaces publics, l'accès solaire pauvre peut même être associé au comportement criminel et antisocial, tel que l'agression ou le vandalisme (Jenks et

Dempsey, 2005). Ceci présente un problème fondamental aux planificateurs et architectes, la bonne compréhension de la relation entre la forme urbaine et l'accès solaire leur permet de prendre les mesures nécessaires afin d'opter à des choix stratégiques.

Etudier les effets de la géométrie, les dispositions et les orientations sur le potentiel de l'énergie solaire devient très nécessaire. Des recherches, menées au Martin Centre à Cambridge, ont montré que certains paramètres de la forme urbaine ont été extraits à l'aide de techniques d'analyses d'images se sont avérées très utiles pour explorer les corrélations entre la forme urbaine et l'environnement solaire. Plusieurs journées d'études et ateliers¹, des projets urbains tels que (*SOLURBAN, 2001, 2002*) ainsi que des recherches et publications : (*Paul Littlefair 1998 ; Lau, 2011*) ont été effectuées dans le but de déterminer le potentiel d'utilisation de l'énergie solaire (énergie solaire passive et active, éclairage naturel et production d'électricité photovoltaïque) et permettant une meilleure utilisation directe de l'énergie solaire en site urbain.

Une gamme des paramètres de la forme urbaine est décrite ci-dessous, l'accent est porté sur ceux qui ont un impact direct sur l'ensoleillement.

III.4.LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA FORME URBAINE ET LEURS INFLUENCES SUR L'IRRADIATION SOLAIRE (ETAT DE L'ART)

III.4.1. L'effet De La forme bâtie :

Afin de déterminer le rôle que peut jouer la géométrie des bâtiments dans l'ensoleillement des espaces construits et espaces libres, plusieurs travaux ont fait l'objet d'étude dont le but est de trouver la géométrie qui peut profiter le mieux possible de l'irradiation solaire (*T. Benlatreche, 2006*). Dans ce sens, on va voir un panorama des propositions faites par les théoriciens de l'urbanisme à travers l'histoire et quelques recherches récentes avec de nouvelles techniques d'optimisation, de modélisation et de configuration de formes.

Au milieu du 20^{ème} siècle, les formes de bâtiments ont connu un passage à l'industrialisation, à la répétitivité et aux grandes séries, à la consommation extensive d'espace. Une industrialisation de la construction et une modélisation de modèles qui ont entraîné une uniformisation et une banalisation sans précédent des formes urbaines. Cette transformation trouve sa justification théorique dans le mouvement moderne. En outre, la Charte d'Athènes

¹ A titre d'exemple : SEUS, solar energy at urban scale, un atelier qui a eu lieu à Compiègne en France les 25 et 26 Mai 2010.

(1941) réduit la ville à quatre fonctions principales (habiter, travailler, circuler et se recréer), des actions qui vont malheureusement faire oublier les anciens types de formes (R. Allain, 2004).

Quelques auteurs, tels que Le Corbusier (1931), Roger Ginsburger (1931), Ludwig Hilberseimer (1936) et Walter Gropius (~1930), ont cherché à prescrire, et même imposer des règles universelles de disposition en prenant en considération le critère de lumière du jour. Ces prescriptions ont reflété une approche systématique et un mécanisme simpliste. Gropius par exemple a recommandé la construction de hauts bâtiments : une construction en hauteur avec une disposition parallèle de développement de bloc. Pour lui, une telle configuration aurait contribué au logement les orientations favorables qui assureraient une exposition équilibrée au soleil (évitant l'exposition au nord), Il a présenté trois règles pour la disposition parallèle de blocs : La première est que pour une incidence d'un rayon solaire sur une surface donnée, le nombre de personnes logée va s'augmenter selon le nombre d'étage (voir la figure 3.1) ; la deuxième règle déclare que pour une incidence d'un rayon solaire donnée et un nombre indiqué d'habitants, la taille du site diminue et le nombre d'étages augmente (voir la figure 3.2) et en fin, pour une surface donnée et un nombre indiqué d'habitant, l'incidence du rayon solaire diminue et le nombre d'étages augmente (Montavon, 2010) (voir la figure 3.3).

« *Quelle est la meilleure forme de bâtiment qui conduit à une meilleure utilisation de la terre ?* » (C. Ratti, et Al, 2003) Une question du 'Centre sur les études d'utilisation de la terre et de formes de bâtiments' à Cambridge² adressée en 1960 aux architectes et planificateurs et qui a mené à influencer la recherche dans la forme et la géométrie de bâtiments. Ils ont inspiré des travaux plus récents dont le but est de déterminer le rôle que peut jouer la géométrie des bâtiments dans l'ensoleillement des espaces construits et espaces libres. Dans ce sens on peut citer –à titre d'exemple- les travaux de Gupta, Steemers et Al, Knowles, Kristl & Krainer, Ratti & Raydan, Kämpf & Robinson, Thapar & Yannas, Okail et autres.

Par la suite, on va présenter quelques exemples qui vont déterminer la relation entre la forme de bâti et la répartition de radiation solaire sur les surfaces bâties et non bâties :

En 1972, Martin et March (Carlo Ratti, et Al, 2003) ont examinés et comparés l'impact de la géométrie du bâti sur la performance environnementale. Six formes urbaines simplifiées ont été choisies et ont fait l'objet de cette recherche (voir la figure 3.4). Ce choix est devenu très populaires dans des études génériques et intensivement adopté. Les résultats préliminaires se

² Maintenant c'est le centre de Martin pour des études architecturales et urbaines.

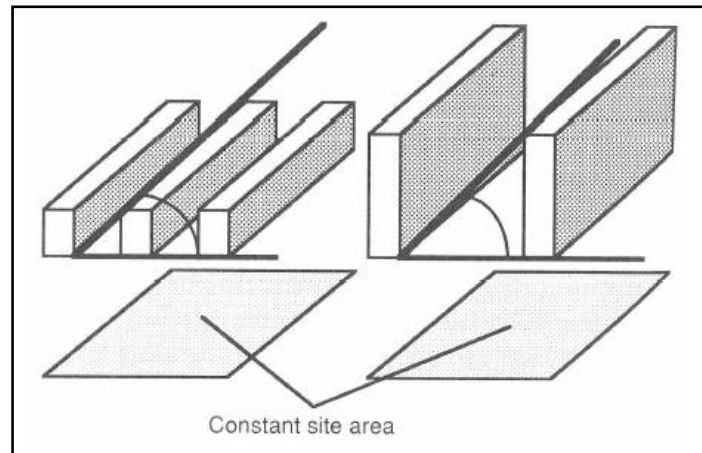


Figure 3.1. Garry Stevens. Pour une surface de site et incidence solaire données, le nombre de population augmente avec le nombre d'étages.

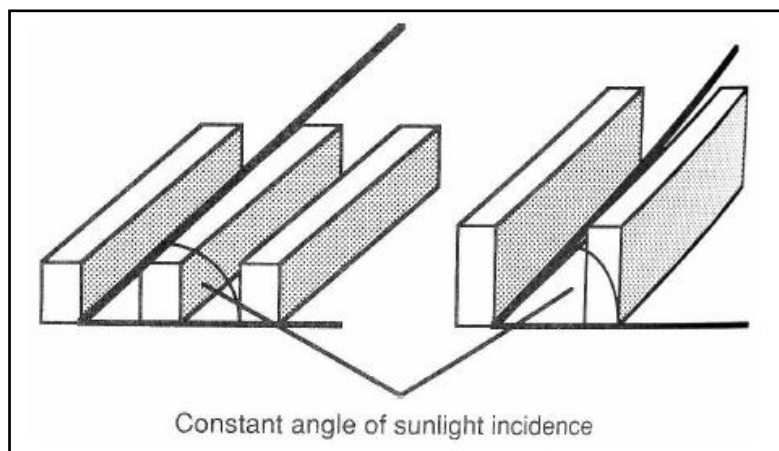


Figure 3.2. Garry Stevens. Pour une incidence solaire et un nombre d'habitant par maison donnés, la taille du site diminue avec l'augmentation du nombre d'étages.

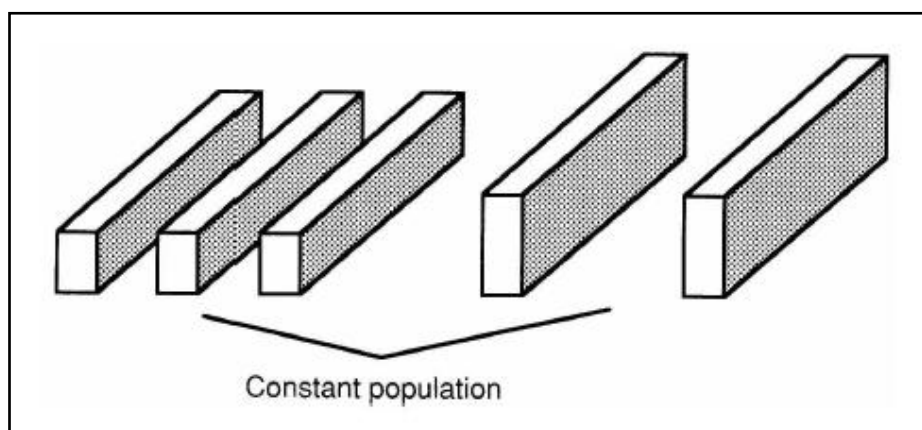


Figure 3.3. Garry Stevens. Pour une occupation au sol et une densité données, l'angle de l'incidence solaire diminue si le nombre d'étages de chaque bloc augmente.
Source des figures .3.1-3.3 : (Montavon, 2010, p40).

sont concentrés sur deux formes : cours et pavillons ; Les cours ressemblent aux formes des bâtiments traditionnels qui sont trouvés dans beaucoup de sites a travers le Royaume unis et les pavillons reflètent plus les formes contemporaines des bâtiments en tour qui sont devenues populaires après le Mouvement moderne.

Ratti a prolongé cette analyse par l'utilisation des techniques innovatrices pour l'analyse de l'environnement urbain, basée sur un traitement d'images (DEM - Digital Elevation Model), complétée par une étude de cas dans un contexte urbain chaud (voir les figure 3.5 et 3.6). Sous le même rapport de parcelle de terrain, il a proposé les mêmes formes archétypales de Martin et March. L'étude de cas a démontré que la disposition de cour a répondu mieux aux variables environnementales calculées (rapport surface / volume, densité d'ombre, distribution de lumière de jour, (SVF 'facteur de vue de ciel') que celle de pavillon dans un climat chaud et aride, par contre dans un climat chauds et humides tels que le tropical, la disposition cour ne serait pas le bon choix.

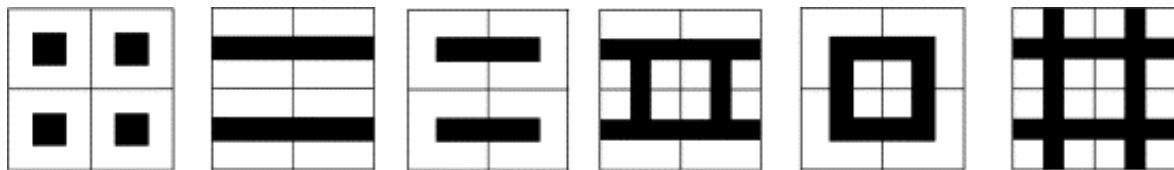


Figure 3.4. Formes génériques urbaines, utilisées par Martin et March et réutilisées par Steemers et al.
Source : (Ratti, 2003, p51).

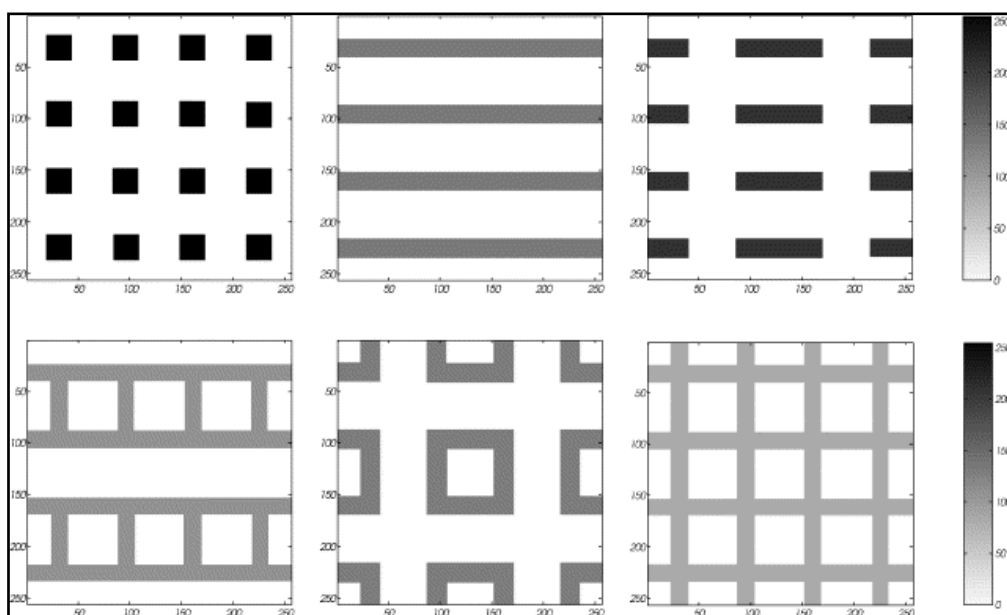


Figure 3.5. DEMs (modèle d'élévation digital) des formes génériques urbaines.

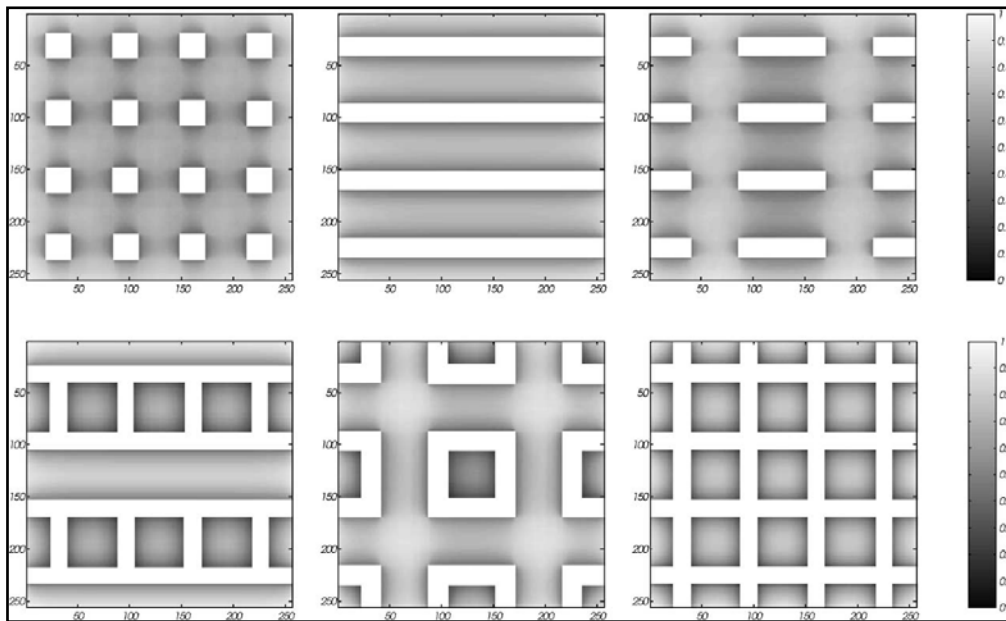


Figure 3.6. Présentation graphique du facteur de vue de ciel (SVF) pour les six formes
 Source des figures (3.5- 3.6): (Carlo Ratti, et Al, 2003, p51-52)

Stemers (Stemers, et al 1996) a effectué une étude par simulation pour comparer le rayonnement solaire incident de trois formes différentes : le type tour, le type cour et le type barre suivant deux orientations : Est-Ouest et Nord-Sud et dans un site de 52° de latitude. Il a affirmé que le type tour favorise l'interception des rayons solaire sur les murs et l'ilot sur les toits ainsi que la disposition de type barre est la forme la plus affectée par l'orientation.

Stemers (Stemers, et Al, 1997) a exploré le rapport entre la forme urbaine et son environnement. Il a cherché à déterminer la liaison entre les diverses textures urbaines et leur impact sur l'accessibilité solaire (directe & diffus), les effets sur l'air et ses polluants et des conséquences pour l'usage d'énergie.

(Kristl & Krainer, 2001) ont publié un article qui présente une recherche dont le but principal est de voir l'influence du rayonnement solaire sur la réponse thermique d'un bâtiment, ils ont étudié notamment l'influence de la géométrie de bâtiment, son orientation sur la densité de plan et la densité des résidants. Ils ont présenté par la suite une évaluation d'énergie des géométries urbaines utilisées et le dimensionnement des sites suivant une méthode appelée : *iso-shadow methode*. C'est une méthode qui permet l'évaluation quantitative de l'efficacité énergétique de l'organisation et la disposition de la forme choisie. De diverses formes ont été étudiées: la simulation a commencé par un modèle constitué de quatre bâtiments parallèles (chacun fait 60m de longueur, 12m de largeur et 6m de hauteur), orienté au Nord/Sud. D'après, la largeur de bâtiment a été grimpée jusqu'à 24 et 36m, la hauteur également a été variée dans

trois étapes, 6m, 12m et 18m avec un changement d'orientation vers l'Est/Ouest, Nord/Ouest et enfin Sud/Est (voir le tableau 3.1). Ils se sont arrivés aux résultats suivants:

- La taille de site et la densité des résidents augmentent avec la taille de bâtiment.
- L'augmentation de la largeur de bâtiment influence substantiellement la surface de site et la densité de plan.
- Quand les bâtiments de même géométrie et de différentes orientations sont comparés, les distances entre les blocs se diffèrent.

Type	Longueur/ largeur (m)	Hauteur (m)	Surface par plancher (m ²)	Surface Totale (m ²)	Nombre de résidents par bâtiment
1	60/12	6	720	1440	58
2	60/12	12	720	2880	115
3	60/12	18	720	4320	173
4	60/24	6	1440	2880	111
5	60/24	12	1440	5760	22
6	60/24	18	1440	8640	332
7	60/36	6	2160	4320	166
8	60/36	12	2160	8640	332
9	60/36	18	2160	12960	498

Tableau 3.1. Neuf types de forme de base de bâtiments et leurs caractéristiques.
Source: (Kristl, Krainer, 2001).

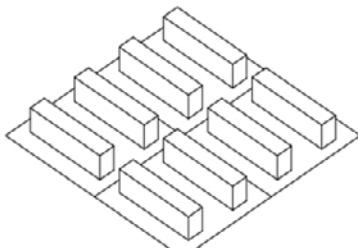
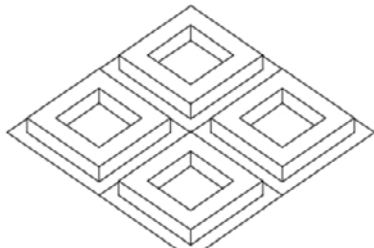
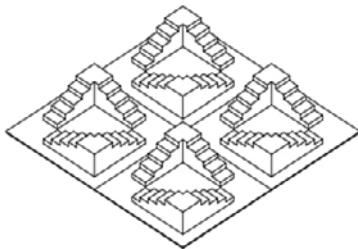
Paramètres de module		
Forme urbaine : Linéaire		
Longueur de module : 76,8m x 76,8m	Surface totale : 5898m ²	
Longueur de bâtiment : 60m	Largeur de bâtiment : 12m	
Hauteur de bâtiment : 15m	Air de jeu : 60m x 26,4m	
Largeur de rue : 26,4 m, 16,8m	Orientation : 0°, 45°, 90°	
Surface de module : 1440 m ²	Rapport de surface	
Cf : Surface / volume : 0,28	couverte : 1 ,2	
Forme urbaine : Bloc		
Longueur de module : 76,8m x 76,8m	Surface totale : 5898m ²	
Longueur de bâtiment : 60m	Largeur de bâtiment : 12m	
Hauteur de bâtiment : 9m	Air de jeu : 36m x 36m	
Largeur de rue : 16,8 m	Orientation : 0°, 45°	
Surface de module : 2304 m ²	Rapport de surface	
Cf : Surface / volume : 0,2	couverte : 1 ,17	
Forme urbaine : RSB		
Longueur de module : 76,8m x 76,8m	Surface totale : 5898m ²	
Longueur de bâtiment : 60m	Largeur de bâtiment : 12m	
Hauteur de bâtiment : 15m	Air de jeu : 36m x 36m	
Largeur de rue : 26,4 m x 16,8m	Orientation : 45°	
Surface de module : 1440 m ²	Rapport de surface	
Cf : Surface / volume : 0,28	couverte : 1 ,1	

Tableau 3.2. Les paramètres principaux des formes urbaines étudiées
Source: (Okeil, 2004).

Okeil (*Okeil, 2004*) a développé une forme urbaine appelée *RSB* 'bloc solaire résidentiel', l'objectif est de maximiser l'énergie solaire reçue sur les façades et réduire au minimum celle qui est reçue sur les toits et les terrains autour de bâtiments, dans un milieu urbain de 48° de latitude en hiver. Il a essayé à travers cette forme d'augmenter les gains de la chaleur en hiver par le rayonnement solaire accru sur l'enveloppe de bâtiment et les réduire en été pour atténuer l'effet urbain d'île de la chaleur. Pour examiner la performance de la forme *RSB*, son exposition solaire a été comparée à celle de deux autres formes : la forme linéaire et la forme de bloc (Voir le tableau 3.2). Les résultats ont affirmé que la forme *RSB* permet d'atteindre des potentiels plus élevés d'utilisation passive de l'énergie solaire. Elle combine les avantages fonctionnels, spatiaux, sociaux et visuels du bloc conventionnel de résidence avec les avantages d'efficacité énergétique de la forme urbaine linéaire. Son exécution aux latitudes inférieures a besoin toujours de plus d'investigations. Elle soutient également des stratégies pour atténuer l'île urbaine de la chaleur en augmentant le flux d'air et en favorisant les toits verts commercialisables.

Panão (*Panão, et Al, 2008*), a présenté une nouvelle méthode basée sur l'approche des algorithmes génétiques qui permet la recherche de la forme optimale afin d'optimiser son potentiel d'efficacité énergétique. Il a cherché un maximum d'absorption de rayons solaires en hiver et un minimum en été. L'analyse des différents cas d'études (voir le tableau 3.3) montre que pour les moyennes latitudes (35° à 50°), l'angle d'azimute de la grille d'implantation devrait varier entre -15° et +15° (voir la figure 3.7), et pour une orientation N/S, l'espacement entre les blocs doit être maximisé.

Il a conclu également que les pavillons, dus à leur petite surface de toiture, sont une forme urbaine bien adaptée aux basses latitudes (35°), car elle réduit l'incidence solaire verticale en été. Ou encore pour les haute latitudes (50°) parce qu'elle en augmente en hiver. Néanmoins, l'espace entre les bâtiments et la légère rotation sont des aspects qui aident à la minimisation de l'ombrage.

Une autre tentative d'optimisation de la forme de bâti basée sur l'approche des algorithmes évolutionnaires a été l'objet d'une recherche récente présentée par (*Kämpf, Robinson, 2010*), il a appliqué cette approche sur trois différents scénarios :

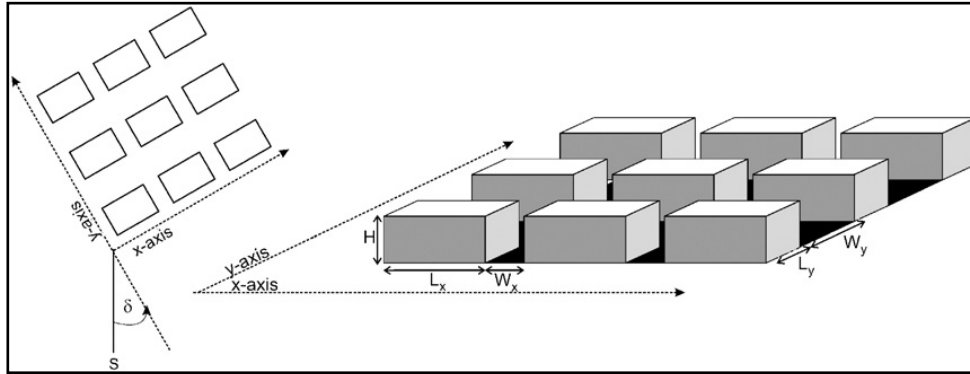


Figure 3.7. Définition des paramètres de la forme urbaine. δ : angle de grille d'azimut, hauteur de bâtiment, largeur: L_x , longueur: L_y , espacement entre bâtiments suivant l'axe x: W_x et y: W_y .
Source: (Marta, et Al, 2008, p889),

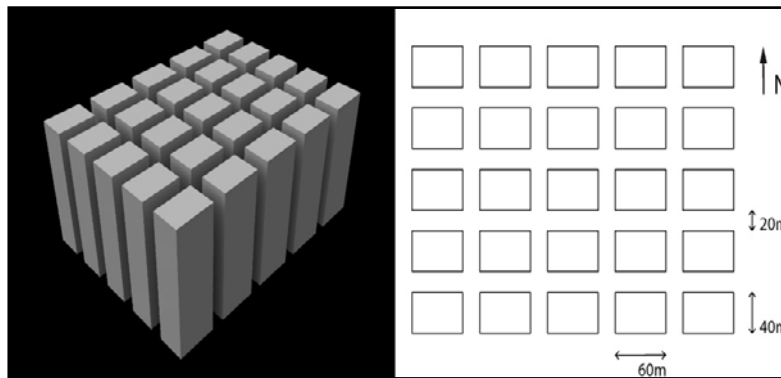


Figure 3.8. Image de scène générée utilisant Radiance (à gauche), schématique d'une vue de dessus (à droite)

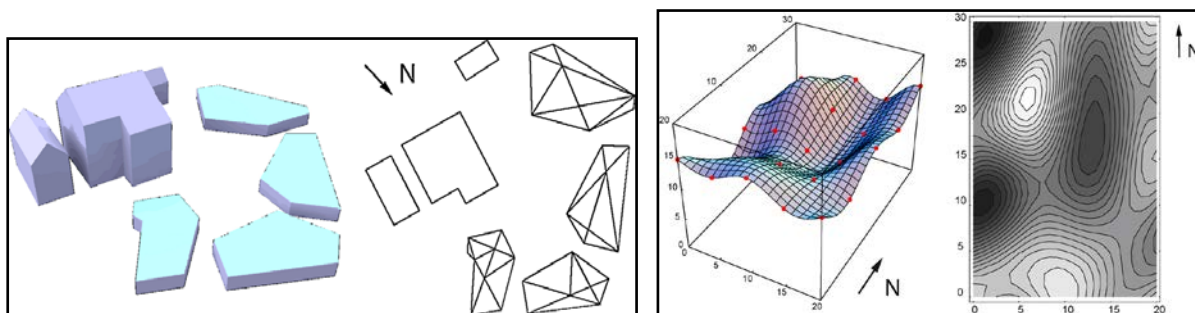


Figure 3.9. (Sur la gauche): image de scène générée utilisant Radiance et schématique d'une vue de dessus

Figure 3.10. (Sur la droite): un toit représenté en séries de Fourier et son tracé de contours.

Source des figures 3.8-3.10 : (Kämpf, Robinson, 2010, p809-811).

	Latitude (deg)	Absorption des surfaces de bâtiment	Indice de surface de plancher
Cas A.0	40	0,5	1,0
Cas A.1	35	0,5	1,0
Cas A.2	45	0,5	1,0
Cas A.3	50	0,5	1,0
Cas B.0	40	0,5	1,0
Cas B.1	40	0,3	1,0
Cas B.2	40	0,7	1,0
Cas C.0	40	0,5	1,0
Cas C.1	40	0,5	0,5
Cas C.2	40	0,5	1,5

Tableau 3.3. Cas d'études
Source: (Marta , et Al, 2008, p 889) .

Un groupe de bâtiments en 'Cuboïde' implanté sur une trame régulière (voir figure.3.8), un petit groupe de bâtiments géométriquement complexe implanté à proximité d'un grand bâtiment existant (voir figure 3.9) et enfin, un bâtiment du plan rectangulaire dont le volume est en séries de fourrier (voir figure 3.10). de ceci, Kämpf a trouvé que l'énergie solaire disponible à l'utilisation peut être augmentée de plus de 20%, et parfois les formes requises tendent à être non-intuitives mais architecturalement intéressantes.

III.4.2. L'effet des proportions et orientations des rues:

La rue est définie comme étant la structure urbaine de base formée par un espace de circulation bordé de part et d'autre par une bande continue de constructions (*Boucheriba*), c'est « ...un espace tridimensionnel clôt entre deux lignes de bâtiments adjacents » (*Moughtin, 2003, p129*), l'origine du mot vient du latin 'Ruga' qui signifie chemin bordé de maisons. Il a donc totalement gardé son sens aujourd'hui. Les rues, les ruelles et les impasses sont essentielles au fonctionnement de n'importe quelle ville. Ils agissent, non seulement pour la circulation du trafic humain et animal et le mouvement des marchandises, mais également en tant qu'espace social important utilisé pour le travail, la rencontre, l'échange et parfois la célébration, le festival et l'affichage. Les rues contribuent également au microclimat de la ville et de ses maisons.

Le rapport entre les rues et le soleil est complexe et doit être examiné en détail. Il y a deux facteurs principaux qui contribuent à l'interaction entre un plan urbain de rue et le soleil : les dimensions et l'orientation des rues relativement au mouvement du soleil (*Shepperson, 2009*).

De plus, la géométrie des rues urbaines varie par rapport au ratio (h/w), le 'sky view factor' et l'orientation qui est définie par son axe longitudinale (Bourbia, Boucheriba, 2010).

III.4.2.1. Formes & dimensions des rues (le profil urbain H/W) :

L'ensoleillement des bâtiments dans un contexte urbain dépend de deux facteurs importants : temporels et spatiaux. Un facteur spatial dépend lui aussi de ratio (h/w), « *c'est le rapport entre la hauteur moyenne des bâtiments qui entourent l'espace sur sa largeur.* » (Oke, 1987 ; cité par Keddissa, 2010, p98). Bourbia le définit comme un rapport de la hauteur moyenne des bâtiments et de la largeur moyenne intermédiaire de la rue. Pour un espace de forme polygonale non homogène, la plus petite largeur entre les bâtiments doit être considérée (Ait-Ameur et Al, 2002). Cependant, la valeur de ce rapport définit trois classes de typologie urbaine :

- La forme canyon : Jean Louis Izard le définit comme étant une rue bordée d'immeubles où la hauteur de ceux-ci est supérieure à deux fois la largeur de la rue ($h/w > 2$) (Voir le tableau 3.4);
- La forme dièdre : « *c'est la forme dont le ciel et les façades sont vues angulairement de manière équivalente: on peut donc avoir en même temps un ensoleillement direct et un éclairage par les façades. Dans ce cas, l'une des conditions suivantes doit être vérifiée : ($h/w = 0,5$ ou $h/w = 1$)* » (J. L. Izard, 2000), (Voir tableau 3.4).
- La forme dégagée : « *Dans un espace dégagé, le ciel occupe une proportion importante de la visibilité angulaire de l'espace : les rayonnements du soleil et du ciel sont prépondérants. Dans ce cas : ($h/w < 0,25$)* ». (J. L. Izard, 2000) (Voir tableau 3.4).

Les anciens tissus urbains de l'architecture traditionnelle ont toujours donné l'exemple de savoir définir les proportions des rues car la géométrie, la hauteur et la distance entre les bâtiments contrôlent l'accès solaire et lumineux.

Les premiers auteurs ont toujours compris la nécessité de la liaison entre la largeur des rues et la hauteur des bâtiments qui les entourent, la raison laquelle les a excités à l'établissement de nouveaux règlements et à pousser la recherche dans cette direction. Plusieurs recherches dans le monde ont essayé de définir la plage optimale de ce rapport afin de suggérer des théories pour améliorer la qualité de vie à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments, A. Harzallah (Dans Montavon, 2010) dans sa thèse de doctorat a récapitulé ces différentes théories dans le tableau présenté ci-dessous (voir le tableau 3.5).

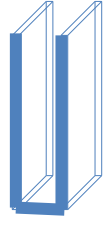
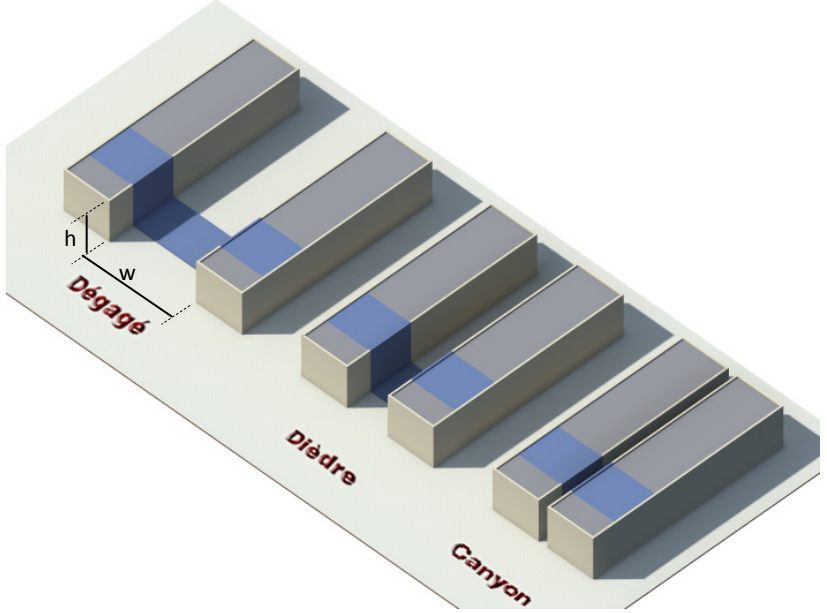
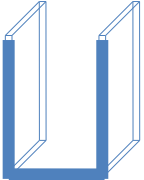
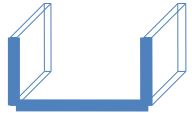
Forme canyon	$h/w > 2$ 	
Forme dièdre	$h/w = 0,5$ $h/w = 1$ 	
Forme dégagée	$h/w < 0,25$ 	

Tableau 3.4 les différentes classes de rues suivant la valeur de (h/w) .

Source : *Auteur*.

Hénard, Cloquet, Cobbaert et Juillerat ont réclamé la valeur 1:1 du rapport en question c'est-à-dire la largeur de rue égale à la hauteur des bâtiments, leur raison consiste à garantir une aération et une insolation appropriées. Le guide de conception 'Essex' suggère que cette valeur du rapport n'est pas trop serré pour assurer le confort (*Montavon, 2010*). Palladio, Alberti et Proust sont avec ce point de vue, mais leurs raisons sont différentes : les deux premiers ont des raisons climatiques tandis que le troisième réclame à des intérêts sociaux.

En opposition, Jaussely, Bardet, Clément et récemment Harzallah ont fortement opposés cette valeur de h/w , ils affirmaient que c'est une condition qui empêche l'irradiation solaire d'atteindre les façades en hiver et ne tiennent pas compte des variations saisonnières. C'est la difficulté que font face les chercheurs : le conflit entre les besoins saisonniers. En effet, les problèmes de la protection contre le soleil en été et le besoin d'accès solaire en hiver s'impliquent.

Théories	Année	Auteurs
Largeur de rue = hauteur de bâtiment	1846	- Jean-Baptiste Monfalcon &
	1846	- Isidore-Augustin-Pierre de Polinière
	1874	- Jean-Baptiste Fonssagrives
	1881/1902	- Achille-Adrien Proust
	1903	- Eugène Hénard
	1906	- Joseph Stübben
	1913	- Cloquet & Cobbaert
	1905/1921	- Paul Juillerat
	1925	- Charles Gide
	1930	- Jean Raymond & W. Kharachnick
	1946	- Albert Besson
	1946	- Augustin Rey
Opposants de Largeur de rue = hauteur de bâtiment	1885	- Félix & Emmanuel Putzeys
	1887	- Etienne Clément
	1910	- Félix Marboutin
	1917	- Donat-Alfred Agache
	1920	- Léon Jaussely
	1945	- Gaston Bardet
Largeur de rue = 1,5 hauteur de bâtiment	1887/1901/1905	- Emile Trélat
	1891	- Charles Barde
	1913	- Jules Courmont
	1928	- Augustin Rey
Largeur de rue = 3 fois la hauteur de bâtiment	1910	- Félix Marboutin
Axe 58°	1943	- Gaetano Vinaccia (Paris, Rome)
Selon la latitude :		
40° : Largeur de rue = 0,8 hauteur de bâtiment	1948	- Robert Leroux
60° : Largeur de rue = 2 fois la hauteur de bâtiment		
Formulations mathématiques	1829	- Anton Von Camerloher
	1885	- Adolphe vogt
	1887	- Etienne Clément
	1902	- Henri Bertin-Sans
	1908/1928	- Augustin Rey
	1910	- Félix Marboutin
	1913	- Jules Courmont
1948	- Robert leroux	
Largeur de rue suivant la hauteur de bâtiment et l'orientation	1885	- Adolphe vogt
	1887	- Emile Trélat
	1887	- Etienne Clément
	1891	- Charles Barde
	1908	- Augustin Rey
	1930	- Edmond Marcotte
Différentes méthodes indicatives	1909	- William Atkinson

Tableau .3.5. Différentes théories de largeur de rue.

Source: (Montavon, 2010).

Récemment, (Oke, 1988) suggère que dans une latitude de 45° , un rapport maximum de H/W près de 0.6 soit satisfaisant dans le but d'assurer l'irradiation directe, l'après midi des jours d'hiver. Il a déterminé une 'zone de compatibilité' de ce ratio pour une ville hypothétique de latitude moyenne, il suggère qu'une valeur comprise dans l'intervalle $0,4 < h/w < 0,6$ représente un compromis acceptable qui satisfait d'une part les critères pour un confort thermique exigeant un grand rapport et d'autre part les critères pour dissiper la pollution exigeant un faible rapport. Shaviv, et al ont validé cet intervalle, et ont indiqué que cette marge est affectée par l'orientation. (Cité par keddissa, 2010)

Dans une poursuite des arguments d'Oke, A.J. Arnfield (Arnfield, 1990) a adopté une approche qui consiste à simuler numériquement les irradiances d'une variété de géométries de rues dans le but d'explorer et de présenter l'utilité d'une méthodologie qui assiste la conception urbaine du point de vue de l'accès solaire aux facettes et aux utilisateurs des rues. Les variables sont : état de ciel, date (conditions saisonniers), latitude et le rapport h/w. Des irradiances ont été calculées pour différents endroits dans le canyon : dans des points à travers toute la surface du canyon afin de calculer l'irradiation reçu sur les murs et les différentes toitures. Sur un modèle humain situé dans la partie utilisé par les piétons et le trafic, et enfin sur le point le plus haut de la toiture. Les principaux résultats de la recherche figurent comme suite :

- Pour l'irradiation des toitures dans un ciel clair (K_f);

En général, K_f diminue quand la valeur de h/w augmente ;

En hiver, l'irradiation des deux orientations S-E et E-O est maximale et similaire ;

En été, K_f varie relativement peu avec la latitude dans l'orientation N-S par contre dans l'orientation E-O, il a remarqué un grand changement.

- Irradiation des murs dans un ciel clair (K_w):

Les valeurs des irradiances des murs sont moins que celle marquées pour les toitures ;

L'irradiation moyenne des murs diminue avec l'augmentation de h/w dans tous les cas.

En hiver, l'irradiation des murs dans le cas où les rues sont orientées N-S diminue monotoniquement avec la latitude.

- Irradiation du modèle piéton dans un ciel clair (K_p):

K_p diminue quand h/w augmente avec de grands changements quand le rapport h/w prend de petites valeurs.

La plupart des irradiances K_p sont inférieures à K_w .

Dernièrement, (Andersen, et Sattrup, 2011) ont employé le concept de canyon urbain pour étudier les manières dont la performance énergétique des bâtiments du nord européen est affectée par leur contexte. Deux questions clé ont fait la base de leur recherche :

- 1) Comment un rapport h/w d'un canyon urbain affect-il l'énergie utilisée dans les bâtiments (éclairage, chauffage et climatisation) ?
- 2) L'impact du rapport h/w sur la consommation globale de l'énergie comparée à l'énergie solaire reçu, est-il important ?

Le modèle urbain de Copenhague a été pris comme référence, il définit six types de rues par rapport à la valeur de h/w qui s'étend de 0,5 à 3 (voir la figure 3.11). Chaque rue est limitée par des bâtiments de 5 niveaux, soit la hauteur de 15m. L'analyse des environnements des canyons a été exercée en utilisant un logiciel de simulation appelé 'Ecotect'.

L'étude a donné une analyse détaillée de la distribution de rayonnement solaire et de lumière de jour (voir les figures 3.12 et 3.13).

Les deux chercheurs affirment l'influence de la largeur de rue et la hauteur de bâtiment sur la consommation d'énergie globale, ils déclarent que par rapport aux caractéristiques données de la disposition de bâtiment sur un horizon libre, il est possible de concevoir un immeuble de consommation réduite d'énergie (environ 50kwh/m²/an), et si l'environnement autour de bâtiment se transforme avec le temps en zone urbaine dense, la consommation d'énergie augmentera jusqu'à 70kWh/m²/an. L'augmentation relative de consommation d'énergie peut arriver jusqu'à 30% selon l'orientation. Ils ont prouvé que si la valeur de h/w est haute (rue dense), la lumière réfléchie apporte une contribution importante à la consommation d'énergie des bâtiments, elle est en effet la plus grande fraction de lumière de jour disponible sur les bas niveaux.

III.4.2.2. orientations des rues :

L'orientation des rues a été depuis longtemps l'une des ressources conceptuelles et technique pour aborder la question d'ensevelissement en architecture et en urbanisme. De multiples théories ont été proposées, tant par les ingénieurs, les physiciens, que les architectes. Les différentes théories des axes d'orientation des rues peuvent être classées en deux groupes: Les Hygiénistes & les climatistes. Le tableau 3.6 montre une liste chronologique des auteurs de différentes théories d'orientation des rues.

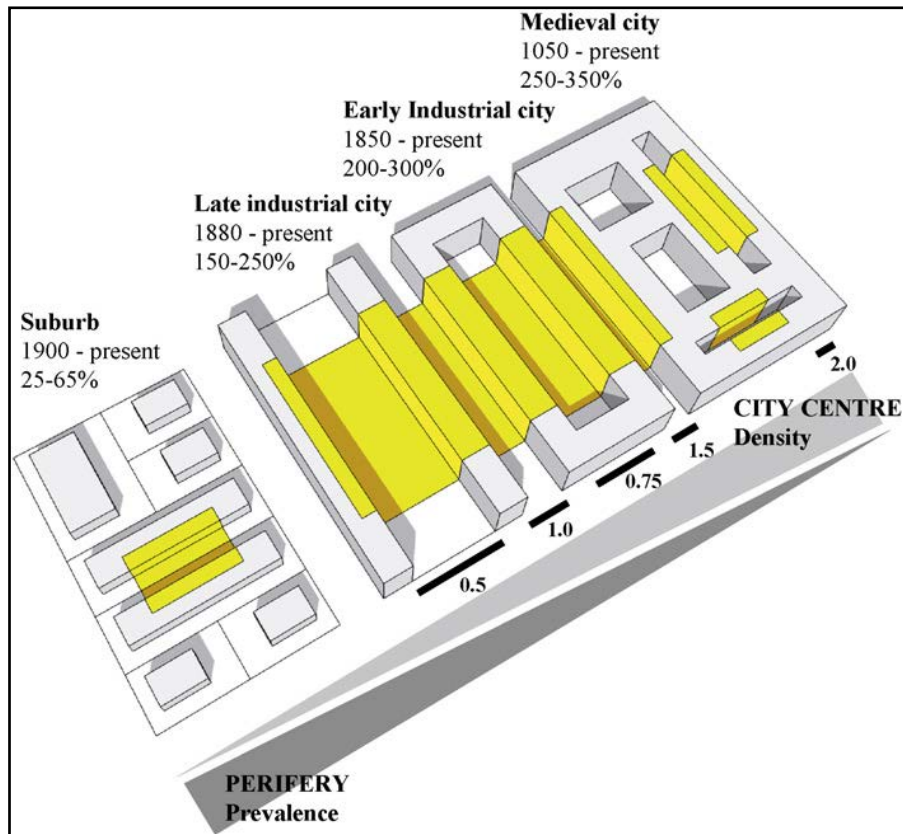


Fig. 3.11. Types de formes urbaines et proportions de canyons urbains à Copenhague.

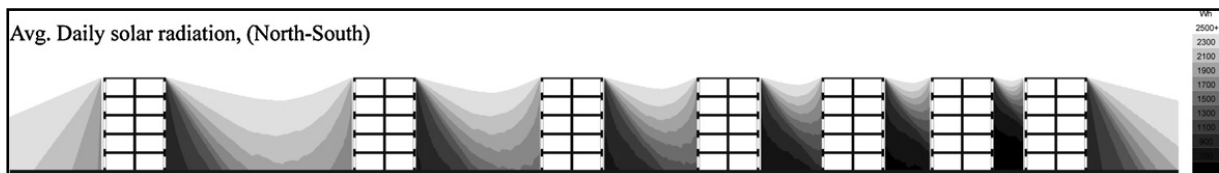


Fig. 3.12. Radiation solaire moyenne par jour dans les canyons urbains calculée en ECOTECT. (Heures de travail : 8h-17h, écart de contours : 500-2500Wh, Weather data, Copenhague).

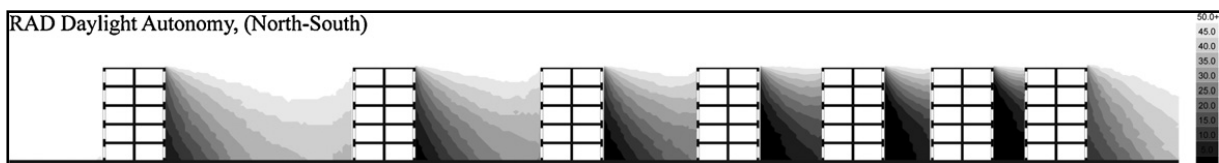


Fig. 3.13. Eclairage annuel > 10,000 lx dans le canyon. Calculé dans RADIANCE/DAYSIM (Heures de travail : 8h-17h, écart de contours : 0-50%, Weather data, Copenhague).

Source des figures de 3.11 à 3.13: (Andersena, Sattrupb, 2011, p2013-2016).

Théories	Année	Auteurs
Axe Nord-Sud	1876	- Benjamin Ward Richardson (Hygeia city)
	1885	- Adolphe Vogt
	1885	- Félix et Emmanuel Putzeys
	1887	- Etienne Clément
	1887	- Emile Trélat (moderate countries)
	1891	- Charles Barde
	1896	- Léon Duchesne
	1904	- Paul Juillard & Louis Bonnier
	1905 /1908	- Henri Provensal
	1909	- Raymond Unwin
	1925	- Jules Courmont
	1930	- Edmond Marcotte
	1934	- Jean Raymond
	1947	- Albert Besson
1948	- Robert Leroux	
Axe Est-Ouest	1891	- Charles Barde
	1896	- Léon Duchesne
	1902	- Achille-Adrien Proust
	1943	- André Hermant
	1948/1951	- Robert Leroux (hot countries)
Les opposants d'orientation: Est-Ouest	1890	- Joseph Stübben
	1921	- Emile Juillerat
	1933	- Jean Raymond
Axe 45°	1885	- Joseph Stübben
	1887	- Etienne Clément
	1894	- William Atkinson
	1901	- Georges Handly Knibbs
	1901	- R. Henson Broadhurst
	1902	- Achille-Adrien Proust
	1908	- Henri Provensal
	1909	- Inigo Triggs
	1912	- A. J. Macdonald
	1925	- Jules Courmont
	1922	- Raymond Unwin
	1943	- André Hermant
Axe 58°	1943	- Gaetano Vinaccia (Paris, Rome)
Axe Héliothermique 19°	1908/1928	- Augustin Rey, J. Pidoux & C. Barde
	1930	(19° Paris)
	1930	- Le Corbusier (1887-1965)
	1941	- Edmond Marcotte & André Gutton
opposants Axe Héliothermique 19°	- André Gutton	
	1943	- Gaston Bardet
	1943	- Gaetano Vinaccia
	1943	- André Hermant
1949	- Robert Leroux	
15° < jusqu'à < 20°	1887	- Etienne Clément (latitude 0 jusqu'à 30°)
15° < jusqu'à < 35°	1904	- Léon Jaussely (Barcelona)
-5° < jusqu'à < 45°	1928	- Augustin Rey
0° < jusqu'à < 45°	1904	- Paul Juillerat
	1945	- Jean Lebreton
0° < jusqu'à < 60°	1921	- Paul Juillerat
	1925/1934	- Jean Raymond
60° < jusqu'à < 70°	1910/1937	- Félix Marboutin
	1941	- Gaston Bardet

Tableau 3.6. Liste chronologique des auteurs de différentes théories d'orientation des rues.

Source: (Montavon, 2010)

III.4.2.2.1. Orientation Nord-Sud (Est-Ouest des façades):

Les premiers travaux qui ont abordé la question de l'orientation dans le contexte urbain apparaissent durant la deuxième moitié du 19^{ème} siècle, leurs acteurs sont des physiciens, des ingénieurs et quelques architectes. Ils suivent les idées de Dr. Adolphe Vogt (1885) de Berne, qui a affirmé que la chaleur solaire serait uniformément distribuée dans les maisons si ces dernières suivent l'orientation nord-sud des routes (exposition est-ouest des façades). Plus tard, plusieurs auteurs français ont défendu ce point de vue à l'exemple de Juillerat et Bonnier (1904). Courmont (1925) considère que cet axe fournit le maximum d'énergie solaire et de lumière. Cette orientation est préférable encore selon Barde (1891), Marcotte (1930), Raymond (1934), Besson (1946) ainsi que Leroux (1948) (*cités par Montavon, 2010*). Selon ces chercheurs, cette orientation garantis un équilibre thermique agréable des deux façades exposée au soleil tout au long de l'année. Le planificateur urbain anglais Unwin (1909) accentue les inconvénients de l'exposition du nord en créant un diagramme montrant la latitude de Londres afin de défendre ses préférences pour des expositions est-ouest (*Montavon, 2010*).

III.4.2.2.2. Orientation Est-Ouest (Nord-Sud des façades):

Se sont les physiciens, les architectes et les ingénieurs qui ont soutenu l'orientation est-ouest des routes (exposition nord/sud des façades) au début du 19^{ème} siècle. Dans leurs expérimentations visant de découvrir les avantages de l'exposition nord, ce deuxième groupe a finalement conclu que c'est l'exposition sud qui offre les meilleurs avantages.

Pour Barde (1891), cet axe est recommandé pour la majorité de bâtiments imposants en Europe tels que les hôtels de première classe, édifices publics, bâtiments de fonction publique...etc. Pour les pays très chauds, Barde préconise l'exposition nord pour la façade principale. Cependant, Proust (1902) suggère cet axe pour éviter les inconvénients de l'exposition nord. André Hermant était également le premier architecte qui a rétabli l'exposition nord de la façade. Selon lui les orientations appropriées sont :

- chambres à coucher : du sud à l'est ;
- toilettes : du sud à l'est ;
- cuisines : sud, sud-est, est, nord-est, nord ;
- salles à manger : sud, ouest, nord ;
- bureaux : nord-est, nord, nord-ouest ;
- salles de séjour : du sud au sud-est, alternativement vers le sud-ouest.

III.4.2.2.3. Orientation diagonale des rues :

L'orientation diagonale des rues est la solution qui semble être favorisée par les villes mésopotamiennes antiques. De bons exemples peuvent être trouvés dans les plans de Nippur (Stone, 1987 dans Shepperson, 2009). L'adoption d'une grille diagonale implique dans une certaine mesure un degré d'égalité dans la ville antique résidentielle. Cette orientation est un compromis par lequel personne ne perd trop, mais également personne ne tire les avantages de l'orientation idéale pour leur maison.

Quelques auteurs proposent des solutions moins radicales qui tiennent compte des différentes orientations et compromis. Ils montrent généralement une préférence pour une orientation de 45 degrés. Cependant, certains d'entre eux, tels que Besson (1946), ont suggéré la possibilité de construire une maison tournante afin de résoudre le problème de l'orientation régulière des façades. Clément (1887), Stübgen (1890), Atkinson (1894) et Unwin (1922) (*cités par Montavon, 2010*) proposent cette orientation afin d'uniformiser la distribution des rayons solaires directes envers toutes les façades.

III.4.2.2.4. Axe héliothermique :

Les découvertes médicales durant la deuxième moitié de dix-neuvième siècle jusqu'au vingtième siècle (Pasteur, Koch) montrent l'influence de l'air et de la lumière sur le bacille de la tuberculose et mettent en avant l'ensoleillement comme facteur microbicide. C'est pour cette raison, une ardente mobilisation du soleil va s'installer en architecture et urbanisme. Tous les intérêts sont portés sur la forme urbaine permettant le meilleur accès au soleil en toute saison : orientations et gabarits des voies supposés optimaux, organisations du front bâti supposées augmenter l'accès au soleil (gradins, redents), etc. (Siret, Herzallah, 2006)

En 1928, dans un ouvrage dont le titre est : Science des plans de villes (Rey et al), A.Rey, J.Pidoux et C. Barde ont représenté des applications de réorganisation de ville selon la théorie de l'axe héliothermique (Voir figure.3.14). C'est une théorie basée sur le constat que : « *la température maximale de l'air (ce que les auteurs appellent 'la vague thermique') n'est pas strictement superposée au maximum des flux solaires. Ce décalage entre irradiation maximale et température maximale justifie, selon les auteurs, la nécessité de définir une nouvelle unité de mesure, la 'valeur héliothermique', produit de la durée d'ensoleillement en un point par la température moyenne de l'air pendant cette durée* » (Siret, Herzallah, 2006, p1). Autrement dit, l'unité héliothermique a été définie comme produit des heures de soleil avec des degrés thermiques mais Gaston Bardet énonce dans la revue Techniques et architecture (Massé, 1943 cité par Montavon, 2010), que ce calcul est physiquement sans

signification et qu'une température peut être multipliée par une masse mais pas par une durée. Rey, Pidoux et Barde établissent que l'orientation optimale de bâtiments se situerait autour de 20° par rapport à l'axe Nord-Sud et varie modérément avec la latitude et le climat de l'endroit d'intérêt (voir la figure 3.15).

La théorie héliothermique a suscité d'importantes controverses parmi les théoriciens de l'urbanisme. L'ingénieur Edmond Marcotte (1930), l'architecte André Gutton (1941) et surtout « ... *Le Corbusier qui a contribué le plus à faire connaître la théorie de Rey, en définissant l'axe héliothermique comme 'l'armature du tracé urbain' (1935). Le Corbusier reprend ainsi à son compte la théorie de La Science des plans de villes (sans d'ailleurs jamais en citer les auteurs), et met en œuvre l'axe héliothermique comme principe fondamental pour l'orientation de la Ville radieuse dès 1930. Il l'utilise explicitement ou implicitement dans plusieurs projets urbains des années 1930 (notamment le plan pour la rive gauche de l'Escaut à Anvers en 1933) et contribue à diffuser largement cette théorie à travers La ville radieuse publiée en 1935. Ce principe perdure implicitement dans son œuvre jusqu'au début des années 1940 ; on peut ainsi montrer que le premier projet pour l'unité d'habitation de Marseille, en 1945, est orienté selon l'axe héliothermique* » (Siret, Herzallah, 2006, p2).

La théorie de Rey a été contestée par Bardet (1943), Vinaccia (1943), Hermant (1943) et Leroux (1946) (Cités par Montavon, 2010), Bardet par exemple estime que le principe de valeur héliothermique est physiquement vide de sens, faux et simpliste. Il compare Rey à un hydraulicien qui multiplierait la hauteur d'une chute d'eau par la durée de l'écoulement, en oubliant le débit !

A la fin des années 1920, le rôle de l'ensoleillement dans la prévention de la tuberculose est devenu négligeable après l'invention de la pénicilline. Plusieurs architectes ont abandonné la théorie, Le Corbusier par exemple se trouve confronté à la question de l'excès de chaleur derrière les façades de pans de verre. Alors, il concentre ses recherches sur le dispositif du brise soleil.



Figure 3.14. Réaménagement héliothermique d'un quartier de Paris (Rey et al, 1928).
Source : (Daniel Siret, Amina Harzallah, 2006, p2).

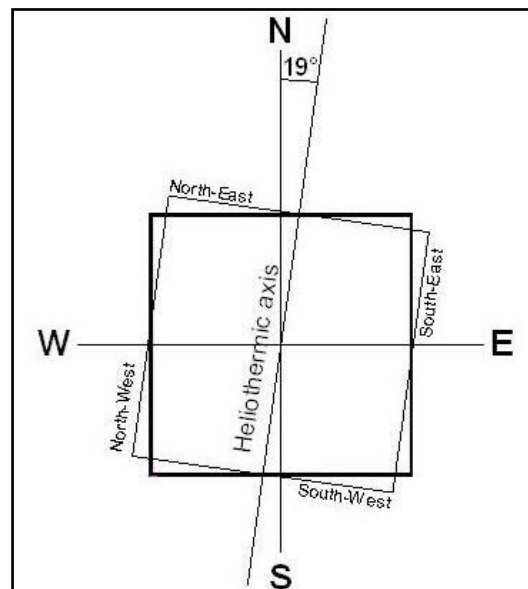


Figure 3.15. Axe héliothermique.

Source : (Montavon, 2010)

III.4.3. L'effet de la géométrie et des proportions des cours:

Selon l'encyclopédie de l'architecture, le mot cour est un mot qui vient du latin 'cortis' ou 'curtis' dont la signification est 'enclos' puis 'cour intérieure'. Très souvent, le terme cour est utilisé à la place du 'patio', c'est pour cela il est nécessaire de définir chacun des deux espaces pour mieux comprendre les similitudes : « *Le patio est une cour intérieure d'une maison, plus souvent découverte* » (Hachette, 2005), par contre le mot cour signifie « *un espace environné de murs ou de bâtiments dépendant d'une maison, d'un immeuble public ou privé* » (Hachette, 2005). Ou encore « *un espace découvert entourée de bâtiments ou de murs et dépendant d'un édifice ou d'une propriété bâtie* ». (Hachette, 2005)

En générale, le mot 'cour' renvoie à une configuration spatiale à grand échelle tel que le cas de la cour intégrée aux grands édifices publics ou privés tandis que le mot 'patio' désigne un espace à petit échelle souvent découvert dans les maisons et les petites habitations.

L'idée des cours comme configuration de plan retourne à des milliers d'années aux établissements néolithiques. Au début, la logique derrière la conception d'un tel espace était principalement pour fournir un secteur protecteur de forces extérieures, telles que l'invasion par les humains ou par les animaux sauvages (Edwards, et Al, 2006). En 1500 avant jésus christ, des cours ont été construites à Minos sur l'île de Crète nommées 'Patio'. Avec le temps, la cour s'est développée en logique qui permet l'accès solaire ainsi que le contrôle de lumière naturelle dont elle joue un triple rôle : l'admission, la diffusion et la distribution de la lumière vers les espaces adjacents. En effet, la cour offre l'avantage de réduire les consommations énergétiques du bâtiment et produit des effets lumineux différents de ceux que procure une baie verticale dans une façade. Mais la performance en matière d'ensoleillement et de lumière naturelle dépend de plusieurs facteurs et critères tel que l'orientation, la configuration géométrique et la position même de la cour (Benlatreche, 2005).

Les caractéristiques des cours qui ont été considérées en tant que malsain ont réveillé l'intérêt de beaucoup d'auteurs et spécialement les hygiénistes. Leurs notes et recommandations ont traité fondamentalement la configuration et les dimensions des cours afin de fournir des solutions plus saines, elles sont récapitulées dans les tableaux ci-dessous (tableau 3.7 et le tableau 3.8).

Théories	Année	Auteurs
Cour = 3-4 m² minimum	1891	- Charles Barde (R+2)
Différentes études sur les cours closes	1905	- Emile Trélat
Largeur de cour > largeur de rue	1920	- Léon Jaussely
Largeur de cour = largeur de rue	1921	- Paul Juillerat
Largeur de cour ≥ hauteur des bâtiments environnants	1943	- Gaetano Vinaccia (Paris, Rome)
Opposants des cours closes	1915	- Agache, Aburtin & Redont
	1928	- Augustin Rey
	1930	- Edmond Marcotte
	1934	- Jean Raymond

Tableau 3.7. Instigateurs des cours ouvertes et bâtiments 'redans'.

Théories	Année	Auteurs
Cours ouvertes	1908	- Charles Barde (R+2)
	1921	- Paul Juillerat
Cours ouvertes d'une largeur de 24m (variable en relation avec les étages)	1946	- Augustin Rey (R+5+2 attique)
Bâtiment 'Redans'	1903	- Eugène Hénard
	1908	- Henri Provensal
	1904	- Léon Jaussely
	1920/1921/1925/1935	- Le Corbusier
	1925	- Tony Garnier
	1928	- Augustin Rey

Tableau 3.8. Recommandataires et opposants des cours closes.
Source des tableaux 3.7-3.8: (Montavon, 2010).

A Paris, un ordre a été décrété en 1872 qui a visé à établir une spécification d'un rapport entre la hauteur des bâtiments, la largeur des rues et la surface des cours et patios. Quelques années plus tard, Brade (1891) (*cité par Montavon, 2010*) relie la surface des cours à la hauteur des murs qui l'entourent. Pour Juillerat (1920), les cours et les rues jouent le même rôle de distribution d'air et de lumière : pour cela, ils devraient se conformer aux mêmes règles de dimensionnement et de proportion. En revanche, Provensal (1908) et Rey (1928), ont proposé d'enlever carrément les cours ouvertes et de les remplacer par d'autres complètement ouvertes sur les rues. En opposant, il existait une gamme entière d'auteurs qui voudraient supprimer complètement la cour tel que : Agache (1915), Aburtin & Redont (1915), Rey (1928), Marcotte (1930) et Raymond (1934) (*Cités par Montavon, 2010*).

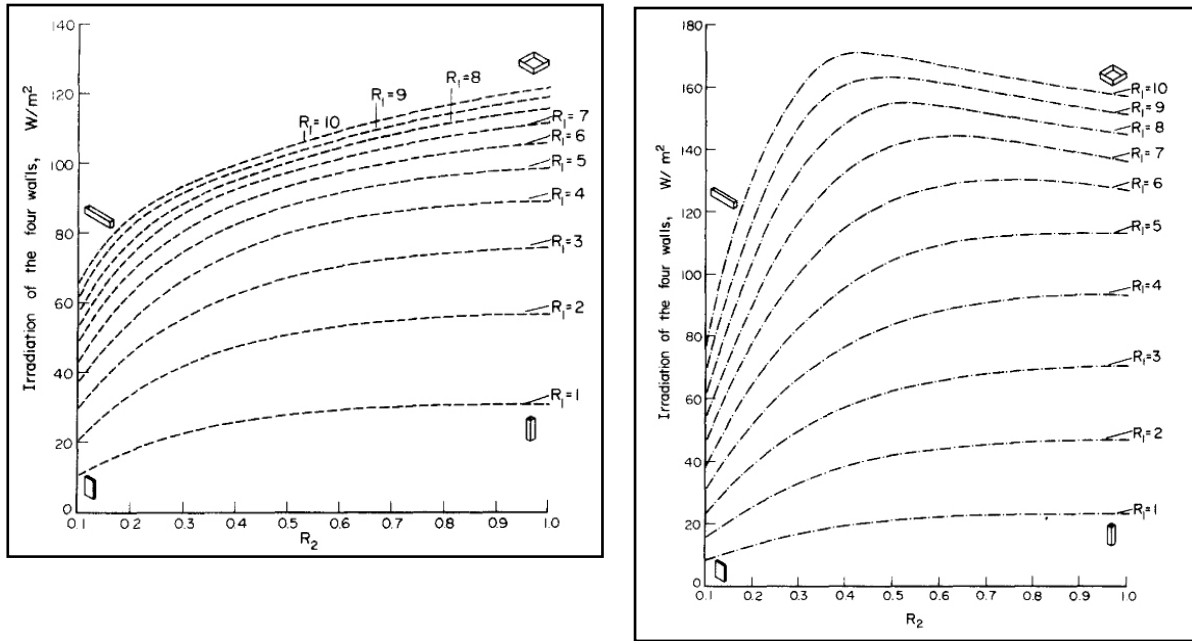
D'après les recherches effectuées à ce propos : Fathi (1970), Mohcen (1970), Capderou (1985), Piras (1998), Evan (1980), Yezioro (2006), Muhaisen (2006) et autres, les paramètres qui régissent la disponibilité de la radiation solaire dans la cour sont : géométriques (les proportions, l'orientation et la taille) ou physiques (réflectivité des surfaces de la forme) (Morad, et Mohsen, 1979).

(Mohsen, 1979) a publié une recherche présentant un modèle mathématique mis en application sur l'ordinateur pour atteindre les trois buts suivants :

- développer des mesures et des indices d'irradiation solaire afin d'évaluer la performance thermique de la forme de cour.
- représenter la variation de l'irradiation de la forme par rapport à la variation des paramètres de la forme.
- identifier les champs dans lesquelles les paramètres de la forme affectent de manière significative la performance thermique.

Le programme était appliqué pour le Caire (latitude 30°N, longitude 31°E) comme exemple d'un climat sec chaud typique. Les figures de 3.16 à 3.21 présentent les résultats acquis. Il est important de mentionner que R1 désigne le rapport entre le périmètre de la cour et la hauteur des murs qui l'entourent, son valeur varie de 1 à 10, quand à R2 exprime le rapport entre la largeur et la longueur de la cour, il peut varier entre 0,1 et 1.

Fathi. H (1970) et Evan. M (1980) (Cités par Benlatrache, 2005) affirment que l'orientation la plus favorable d'une cour en été dans les moyennes latitudes est suivant l'axe longitudinal Est-Ouest, une orientation qui maximise la surface des parois orientées Sud. « *Le courant bioclimatique a remis l'exposition sud à la mode pour mieux capter l'énergie solaire en hiver, il se trouve que cette orientation est aussi sous nos latitudes celle qui offre les apports solaires les plus faibles en été après le nord* » (J.L. Izard, 1993). (Capderou, 1985) a confirmé ce choix en calculant la quantité d'énergie reçue sur les parois à Constantine (latitude 36,17°), les résultats



Figures 3.16 & 3.17. L'effet de changement des ratios R_1 & R_2 sur l'irradiation de l'enveloppe de la cour en été (sur la gauche) et en hiver (sur la droite).

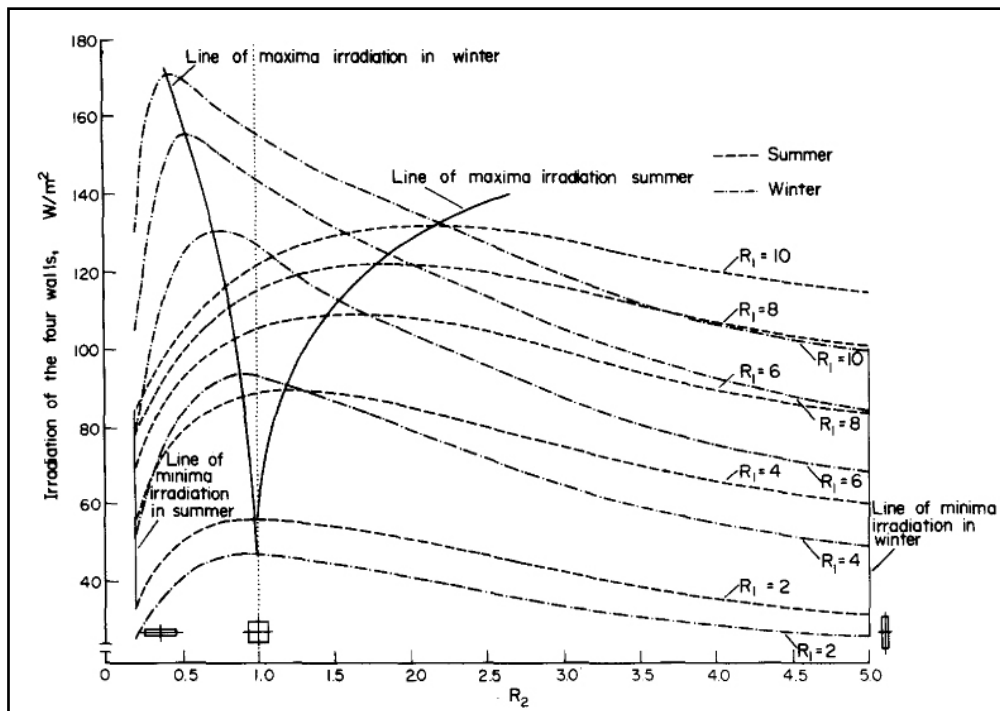
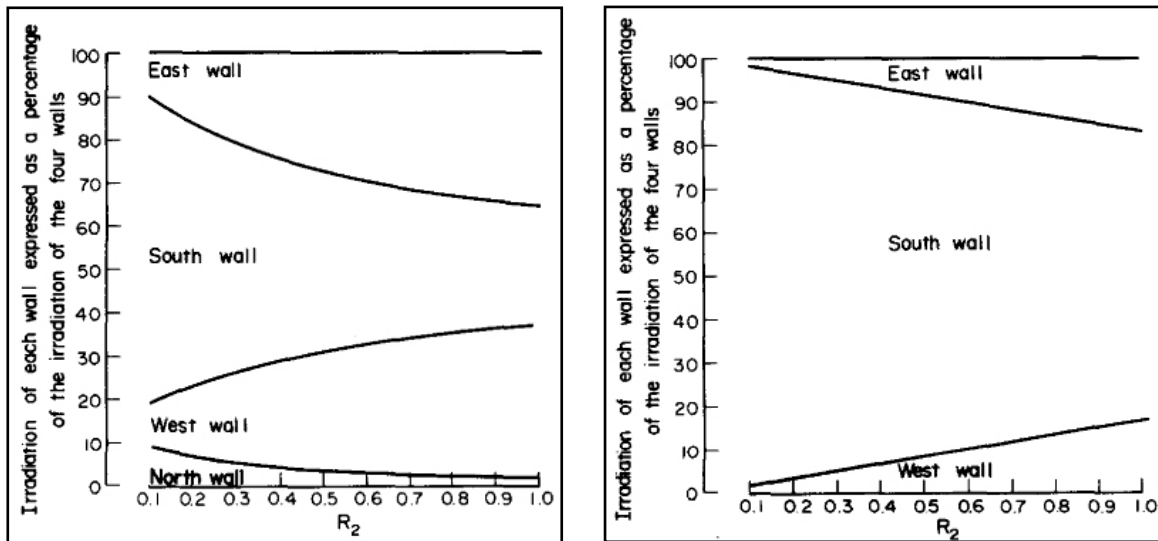


Figure 3.18. Location de l'irradiation maximale et minimale reçue sur les murs en été et en hiver. Source des figures 3.16 – 3.18 (Morad, Mohsen, 1979).



Figures 2.19 & 2.20 : distribution de l'irradiation solaire des quatre murs de la cour, à gauche (en hiver) et à droite (en été).

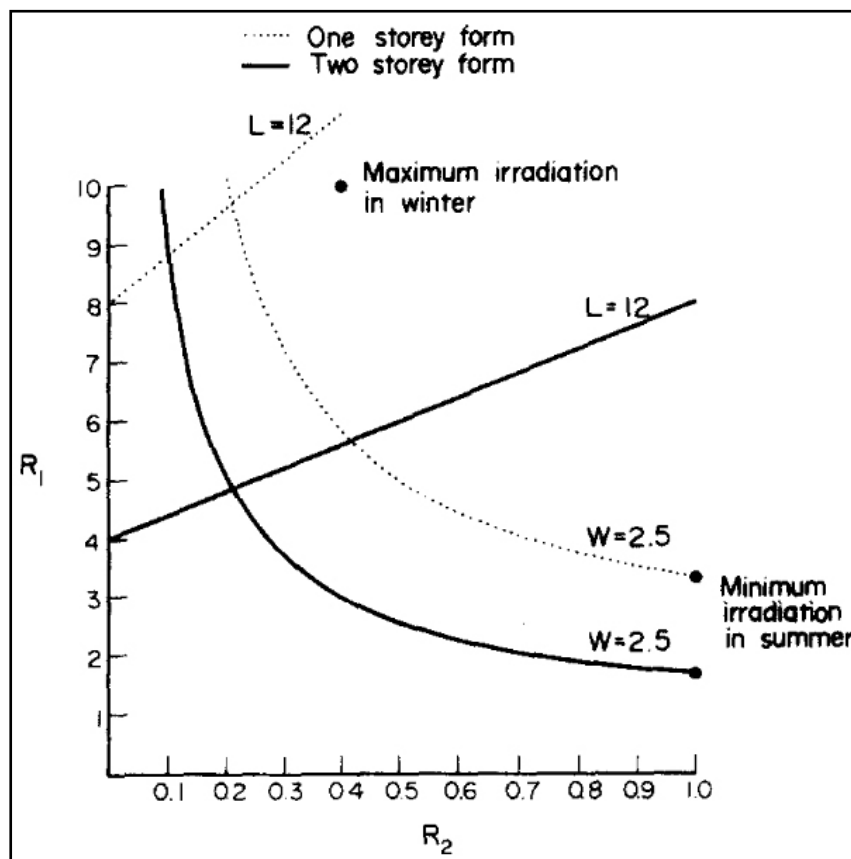


Figure 2.21. Formes optimales que prend la cour en hiver et en été.
Source des figures 3.19 – 3.21 (Morad, Mohsen, 1979).

prouvent qu'un mur Ouest reçoit le maximum d'énergie en été ($> 2400 \text{ w/m}^2/\text{j}$) et ne reçoit en hiver que ($781 \text{ w/m}^2/\text{j}$), par contre un mur vertical Sud reçoit le maximum d'énergie en hiver ($2398 \text{ w/m}^2/\text{j}$) au contraire qu'en été où la radiation solaire directe reçue ne dépasse pas les ($700 \text{ w/m}^2/\text{j}$).

En vue d'assurer une accessibilité de rayonnement solaire en hiver pour réchauffer le bâtiment et garantir un ombrage suffisant en été, (Muhaisen, 2006) a présenté une étude de modélisation où il suivait l'effet des proportions et dimensions des cours sur les conditions d'ombrage et d'exposition solaire produites sur l'enveloppe interne de la forme dans quatre locations différentes : Kuala Lumpur, Le Caire, Rome et Stockholm qui représente les régions climatiques : chaud humide, chaud aride, tempéré et climat froid (voir la figure 3.22).

Les résultats obtenus (voir tableau 3.9) indiquent que pour un climat chaud et humide, la forme optimale que peut prendre la cour c'est celle dont R_1 vari entre 3 & 7 à n'importe quelle valeur de l'élongation. Dans un climat sec et chaud, Muhaisen recommande une valeur entre 4 et 8 du rapport R_1 avec les diverses valeurs que peut prendre R_2 . Pour les deux autres climats : tempéré et froid, l'idée en général est d'élaborer des formes non profondes dus à la basse hauteur du soleil. La hauteur optimale d'une cour pour obtenir une performance raisonnable en hiver et en été au même temps est à trois niveaux dans le climat chaud et humide, deux dans les climats secs et les climats tempérés, cependant, il est recommandé de construire des bâtiments tertiaires dans un climat froid.

location	Été		Hiver		Réduction acceptable	
	Ratio optimal	Valeur maximal (%)	Ratio optimal	Valeur maximal (%)	Été (%)	Hiver (%)
			$R_1 = 10,$ $R_2 = 1$			
Kula Lumpur	$R_1 = 1, R_2 = 0,1$	95,3	$R_1 = 10,$ $R_2 = 1$	44	40	40
Caire	$R_1 = 1, R_2 = 1$	82,6	$R_1 = 10,$ $R_2 = 1$	37,5	35	50
Rome	$R_1 = 1, R_2 = 0,1$	92,4	$R_1 = 10,$ $R_2 = 1$	30,8	40	40
Stockholm	$R_1 = 1, R_2 = 0,1$	96,7	$R_1 = 10,$ $R_2 = 1$	5,6	50	40

Tableau 3.9. Ratios optimales et les surfaces de murs ensoleillées et ombragées qui leurs correspondent
Source : (Muhaisen, 2006)

Dans un climat chaud et humide, Muhaisen a conclu que l'orientation Nord-est / Sud-ouest est souhaitable. Tandis qu'une orientation de l'axe long de la cour tout au long de l'axe Nord/Sud est recommandée pour les deux climats : tempéré et froid. Dans un climat chaud et sec, les

formes avec une orientation entre l'axe Nord-est/Sud-ouest et l'axe Nord/Sud assure une performance efficace pour les deux saisons : hiver et été. (Voir la figure 3.23)

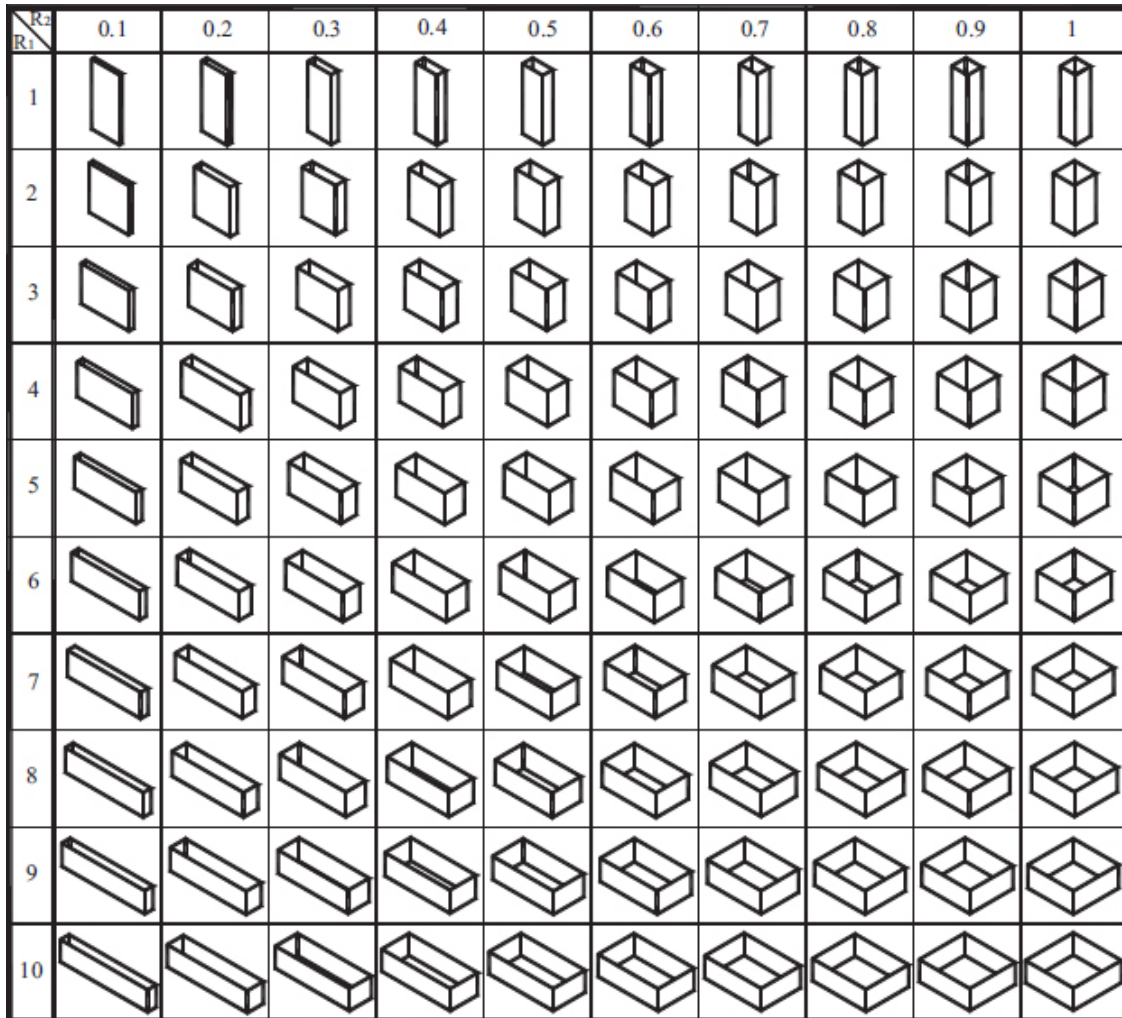


Figure 3.22. Les formes de cours étudiées.

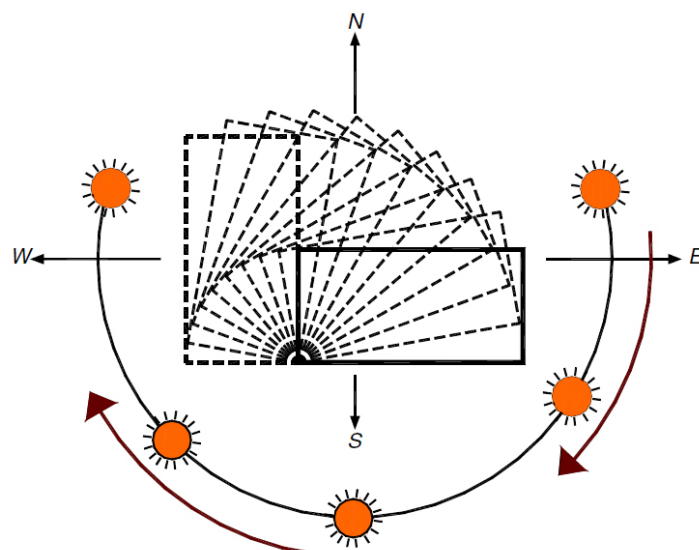


Figure 3.23. Changement d'orientation de la cour de 0° à 90°, dont 10° pour chaque étape.
Source de figures 3.22; 3.23. (Muhaisen, 2006)

III.4.4. L'effet de la disposition des bâtiments et question de densité:

Il devrait être signalé qu'une grande partie de l'énergie utilisée dans les bâtiments est partiellement dépendant de la conception de bâtiment elle-même. Les facteurs tels que l'accès solaire direct en hiver, l'éclairage naturel et la forme bâtie qui réduit la perte de chaleur affectent la demande énergétique de l'environnement établi. À l'échelle de la ville, les espaces entre les bâtiments sont aussi importants que la forme de bâtiment pour assurer les niveaux appropriés de l'accès solaire et la disponibilité des ressources énergétiques naturelles sur des façades de bâtiment (Schiller et Evans, 2004 cité par Jenks et Burgess, 2004). Si une construction a un côté accumulé contre un bâtiment adjacent, ce côté ne peut pas recevoir les rayons solaire, ne contribuant de ce fait pas aux gains de la chaleur dites passives de la maison. Si une construction est entourée sur trois, ou même quatre côtés, on va presque éliminer les gains de la chaleur des rayons solaires incidents sur les parois verticales.

Les rapports entre surfaces bâties et non bâties, disposition relative des masses et leur espacement est une variable clé d'enseillement au milieu urbain. Dans les tissus des villes anciennes les vides sont résiduels. Ils prennent plus d'importance avec l'automobile, ce qui a conduit le mouvement moderne (dans la première moitié du 20^{ème} siècle) à préconiser des immeubles collectifs hauts et espacés. Le mode d'occupation de l'îlot est changé : des maisons à l'alignement des vois sur parcellaire étroit deviennent des immeubles collectifs ou immeubles-tours en milieu d'îlot (voir la figure 3.24). L'ancien type de ville est condamné (Allain, 2004).

En 1936, l'architecte allemand Ludwing Hilberseimer (1885-1967), publia un article dans le journal *Moderne Bauformen* adressant les relations entre le soleil et les issues de la densité. Il a présenté les principes et les préceptes que J. P. Péneau les a comparés à ceux de l'orientation systématique fourni par H. Meyer. Il a soumis de divers diagrammes montrant l'influence de la latitude et de la hauteur de bâtiments sur la densité urbaine (voir les figures 3.25 – 3.28). Il a prouvé qu'avec des bâtiments d'une même hauteur et même nombre d'étages, il est possible d'obtenir la moitié de la densité à Moscou comparée à celle de Paris si le rayonnement solaire reçu par chaque maison était imposé. Cette densité peut varier également en fonction des orientations : l'arrangement de toutes les ouvertures de maisons vers le nord va produire une basse densité urbaine (herzallah, 2007 cité par Montavon, 2010).

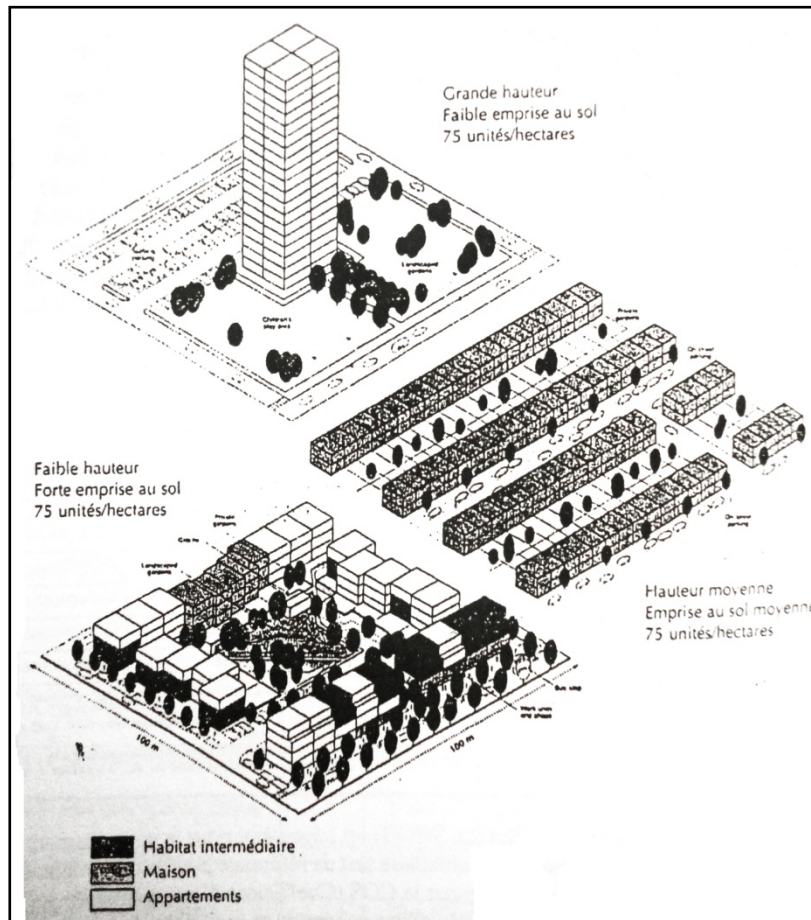


Figure 3.24. Modulations morphologiques de la densité.

Source : (Allain, R, 2004, p121).

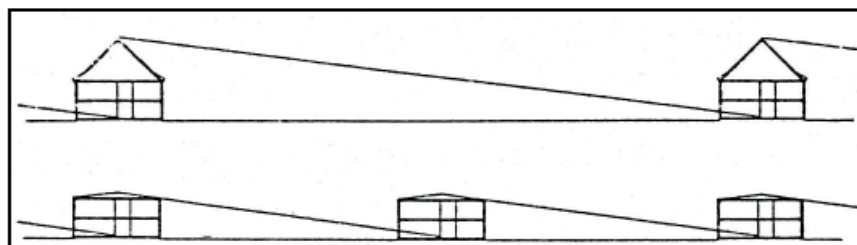


Figure 3.25. Ludwig Hilberseimer. Diagramme montre l'influence des toits de bâtiment sur la densité urbaine, afin de recevoir 4 heures de soleil le 21 décembre.

Source : (Montavon, 2010, p43)

En 1974 (Belliot et Al, 2006), l'IAURP³ publiait un numéro de ses 'Cahiers', consacré aux densités et aux formes urbaines des cartiers d'habitation de la région parisienne. Le travail dû à l'initiative de J.-P.Lecoin et G.Hanning, voulait apporter des éléments de débat pour le schéma directeur de la région parisienne sur les questions des densités à promouvoir et des hauteurs autorisées.

La ville compacte est un modèle spatial urbain important qui a émergé depuis que la commission de la communauté européenne publia son 'Green Paper' dans 'Urban Environment' en 1990 (Jenks, et Dempsey2005). Depuis, La compacité urbaine est perçue en tant qu'un des éléments essentiels qui composent la ville durable. Ils pensent que la ville comme était n'a pas de future. Le gouvernement Britannique a adopté ce point de vue ainsi que plusieurs chercheurs : Elkin et al. (1991), Sherlock (1991), Enwicht (1992), McLaren (1992), Owens and Rickaby (1992). Leur raison essentielle se déduit du fait que la ville compacte dispose beaucoup d'avantages environnementaux et énergétiques. Par contre, plusieurs autres chercheurs insistent sur le fait que le cas de la ville compacte n'est pas prouvé. L'accessibilité solaire modique aux surfaces verticales qui conduit à une réduction des possibilités du profit maximal de cette énergie propre est une de leurs raisons. Qui est donc le cas 'optimum' : le model compact ou éclaté ? rependant a cette question, (Maignant, 2012) écrit : « La ville compacte et la ville éclatée (ou non compacte) sont deux concepts qui sont des optimums selon la pondération de certains critères mais pas dans l'absolu. La polymorphie de l'espace urbain rend trop complexe toute vision synthétique de la ville. »

Plus récemment, (Cheng, et Al, 2006) engage une recherche fournissant une évaluation plus systématique et plus complète des rapports entre la forme urbaine, la densité et le potentiel solaire. Il comporte une simulation solaire de dix-huit modèles génériques ; chacun représente une combinaison particulière de forme et de densité établies. Ces modèles génériques peuvent être classés par catégorie en quatre formes différentes correspondent à différentes dispositions horizontales et verticales, uniformes ou aléatoires comme illustré sur le tableau ci-dessous (tableau 3.10). La figure 3.29 montre les trois modèles génériques des cas 5,7 et 14.

³ Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région parisienne, devenu l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France.

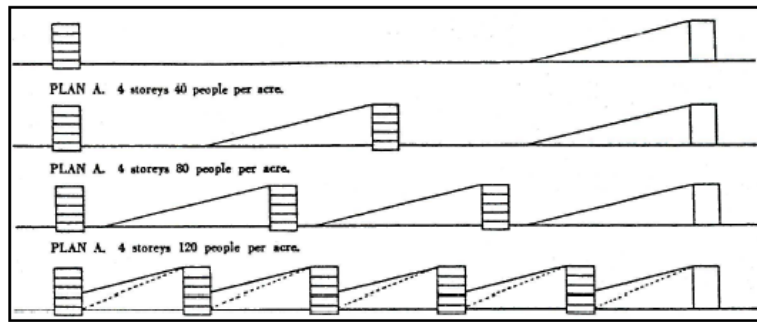


Figure.3.26. Ludwig Hilberseimer. Arrangements de bâtiment selon diverses densités urbaines, ligne continue: latitude 51°30', ligne pointillée: latitude 42°.
Source : (Montavon, 2010, p43)

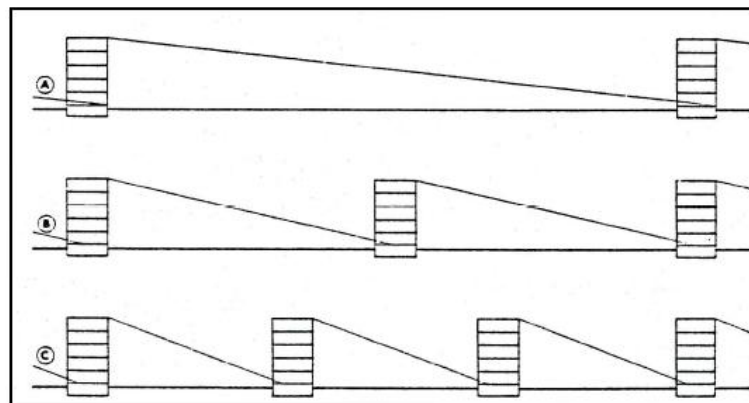


Figure. 3.27. Ludwig Hilberseimer. Diagramme montre la relation entre la latitude et la densité de population, A : latitude 55° Moscou, B : latitude 48° Paris et C : latitude 42° Chicago.
Source : (Montavon, 2010, p43)

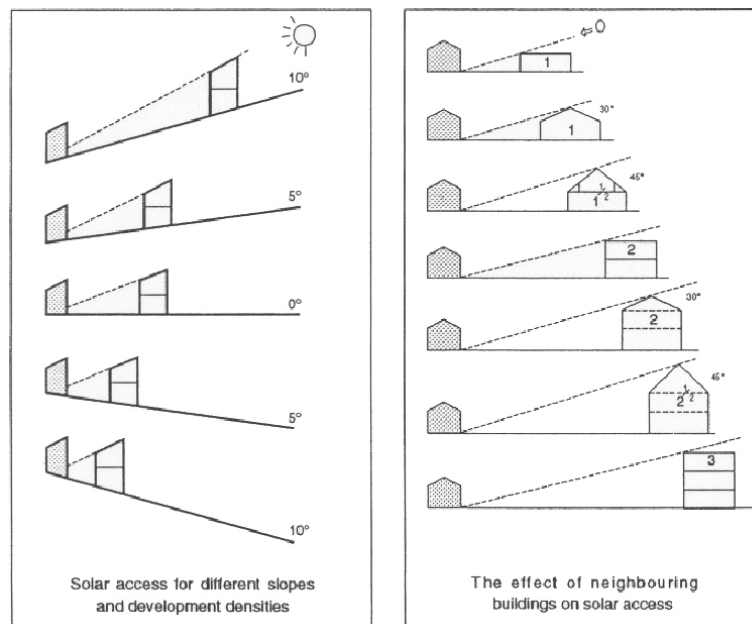


Figure. 3.28. À droite : l'effet des bâtiments voisins sur l'accès solaire, à gauche : l'accès solaire pour différentes pentes et développement de densités.
Source : (Achard, et Giquel, 1992, p156).

cas	Forme (H,V)	Site coverage	Plot ratio	Surface plancher
1	(Uniforme, uniforme)	9%	1,4	14400
2		9%	3,6	36000
3		9%	7,2	72000
4		36%	1,4	14400
5		36%	3,6	36000
6		36%	7,2	72000
7	(Uniforme, aléatoire)	9%	1,4	14400
8		9%	3,6	36000
9		9%	7,2	72000
10		36%	1,4	14400
11		36%	3,6	36000
12		36%	7,2	72000
13	(Aléatoire, Uniforme)	9%	1,4	14400
14		9%	3,6	36000
15		9%	7,2	72000
16	(Aléatoire, aléatoire)	9%	1,4	14400
17		9%	3,6	36000
18		9%	7,2	72000

Tableau 3.10. Sommaire des cas étudiés.

Source : (Cheng, et Al, 2006)

Comme la figure 3.30 l'illustre, les résultats de la recherche montrent que l'aspect aléatoire dans la disposition horizontale des bâtiments est plus souhaitable que la disposition en rangées uniformes. Les arrangements avec de hauts bâtiments, basse densité et plus d'espace ouvert sont plus préférables que ceux avec une densité plus élevée et une hauteur moins importante ainsi qu'éviter l'uniformité dans la disposition verticale des bâtiments.

En illustrant sa recherche, Cheng a pris le centre de la ville de São Paulo comme cas d'étude de rénovation urbaine. Il est caractérisé par une densité élevée, construction trop serrées et espaces ouverts très rares. Cheng propose une nouvelle conception comme la figure 3.31 le montre. Une configuration d'une même surface habitable que celle de l'ancienne configuration, néanmoins, elle résulte mieux les performances en matière de lumière de jour et ensoleillement.

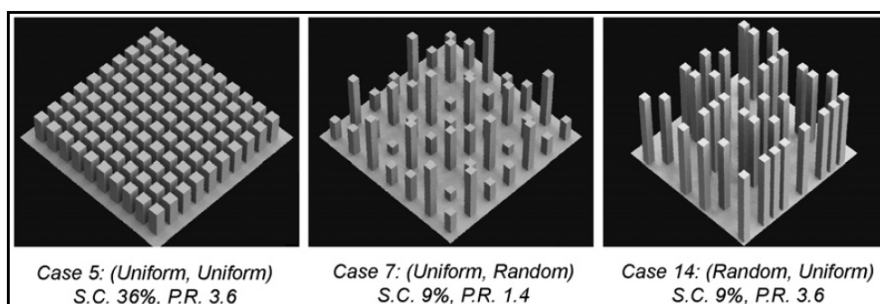


Figure 3.29. Modèles génériques de la simulation.

Source: (Cheng, et Al, 2006)

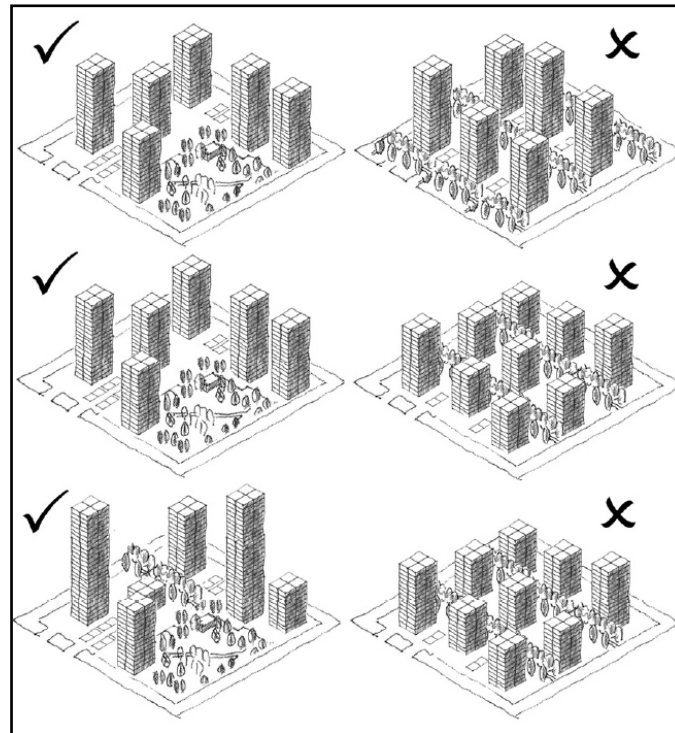


Figure 3.30. Cheng : recommandations concernant la disposition, la hauteur et la densité des bâtiments
Source: (Cheng, et Al, 2006)

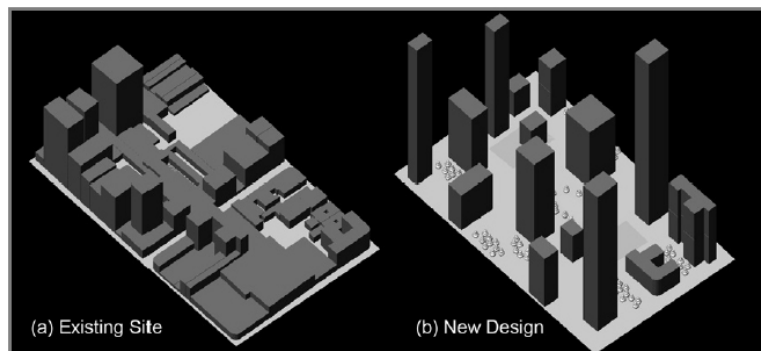


Figure 3.31. Nouvelle conception du cas d'étude.
Source: (Cheng, et Al, 2006)

III.5. DEFINITION DES INDICATEURS AYANT IMPACT SUR L'ENSOLEILLEMENT A L'ECHELLE URBAINE:

Plusieurs indicateurs ont été développés pour étudier la relation entre la géométrie urbaine et l'ensoleillement (Adolphe, 2001; Ait-Ameur, 2002; et Dimoudi et al, 2003 dans Ouameur, 2007). Ces indicateurs seront intégrés dans le cadre de cette recherche, le choix s'est porté sur les indicateurs les plus significatifs et valides à l'échelle du quartier. Le tableau ci-dessous (tableau 3.11) illustre les différents auteurs des indicateurs morphologiques influents l'irradiation solaire urbaine.

Paramètres microclimatiques	Indicateurs morphologiques déterminants		Auteurs	année
	Echelle de l'espace public	Echelle du tissu urbain		
Rayonnement solaire	• Sky view factor (SVF)	• Densité bâtie (D _b)	Elaïsson	1995
			Arnfield	1999
			Brown et al	2000
	• Profil (H/W)	• Densité végétale (D _v)	Santamouris	2001
			Adolphe	2001
	• Ratio: Degree of enclosure (DoE)	• Porosité urbaine (P _u)	Ait-Ameur	2002
		Dimoudi et al	2003	
		Bozonnet	2006	

Tableau 3.11. Synthèse des indicateurs morphologiques déterminants.
 Source : (Ouameur, 2007, p29)

III.5.1. Sky view factor (SVF) :

Le facteur de vue de ciel est simplement une mesure de l'angle solide sous lequel le ciel est vu depuis un espace urbain. (La section de l'espace qui s'ouvre vers le ciel). Il détermine les échanges radiatifs entre le ciel et la structure physique de la ville. Il est exprimé par la relation suivante :

$$SVF = \frac{L' \text{ angle solide de vision du ciel}}{L' \text{ angle solide hémisphérique}} \dots\dots\dots [1]$$

L'évaluation numérique du facteur requiert en amont une image 'fish-eye' ou encore 'équidistante' (équidistante du centre de la sphère) (voire la figure 3.32). Il s'agit de photos produites par des procédés de photographie à objectif fish-eye en utilisant un appareil photo numérique avec adaptateur fish-eye.

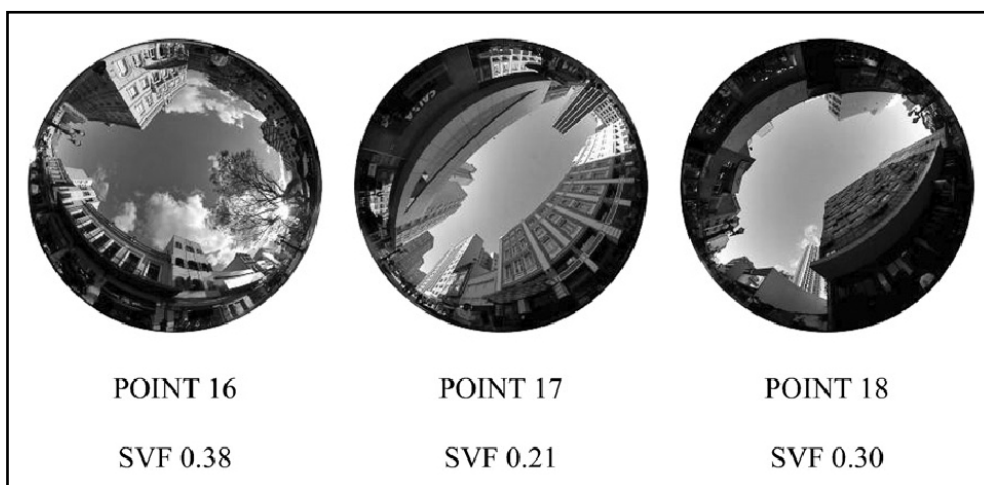


Figure.3.32. Images Fish-eye et valeurs du SVF.

Sources: (Krieger, et Al, 2011).

La valeur du SVF varie entre 0 et 1, un SVF de 1 signifie que la vue de ciel est dépourvue de toute obstruction (bâtiment, arbre, mobilier urbain...etc.). En revanche, un SVF de 0 signifie que la vue du ciel est totalement obstruée. Un changement de SVF de moins d'un dixième est peu susceptible d'être de toute grande importance (Johnson, 1985). Visuellement, un plus grand facteur de vue du ciel procure un sentiment d'ouverture qui s'est avéré être un facteur important pour les usagers des espaces ouverts.

III.5.2. Le profil (H/L) :

Le calcul du profil H/L dépend des dimensions horizontales et verticales de l'espace. Pour quantifier cet indicateur, deux relevés doivent être effectués :

- Un relevé de la hauteur de toutes les surfaces verticales afin d'en déduire une hauteur moyenne;
- Un relevé de la plus petite largeur de cet espace.

Le rapport entre la hauteur moyenne de l'espace et sa plus petite largeur permet d'évaluer la plus petite distance entre façades susceptibles d'être exposées ou non aux rayonnements solaires. Il permet ainsi de quantifier le rapport entre les surfaces verticales et horizontales pouvant être impliquées dans les échanges énergétiques de l'espace (pour en savoir plus, veuillez lire le titre : formes et dimensions des rues dans ce même chapitre)

III.5.3. Coefficient de forme (C_f) :

La taille et la géométrie de bâtiments conditionnent en partie le potentiel solaire. Des bâtiments mitoyens auront moins de radiation solaire que des bâtiments isolés. De même, des bâtiments compacts par rapport à des bâtiments étroits avec beaucoup de décrochement. Cet effet de la forme de l'enveloppe peut être évalué par le facteur de forme (Miguet.F, 2001). (voir la figure 3.33).

Le coefficient de forme (C_f) est défini comme la surface de l'enveloppe en contact avec l'air extérieur divisée par le volume du bâtiment, exprimé ainsi :

$$C_f = C_f = \frac{S_e}{V} \dots\dots\dots [2]$$

Où: S_e : surface de l'enveloppe en m^2

V : Volume habitable en m^3 .

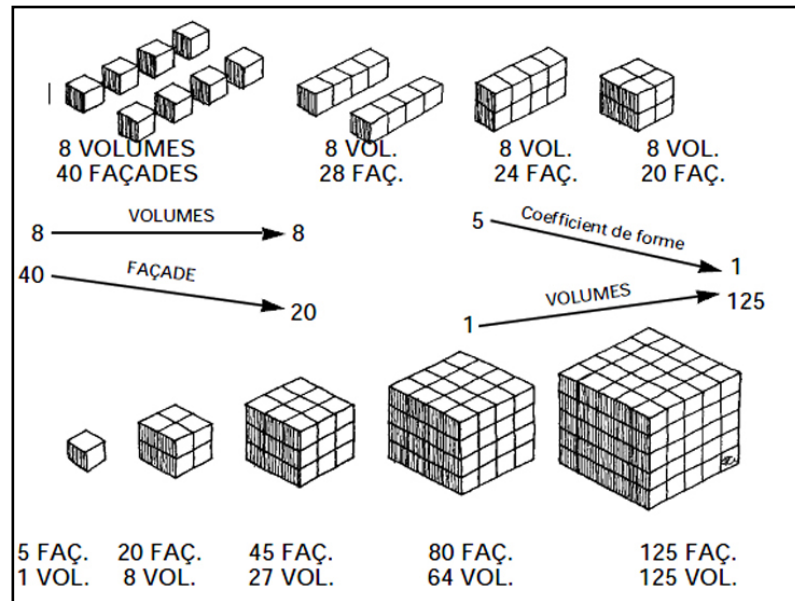


Figure 3.33. Facteur de forme : évolution pour différents types d'agrégation et dimensions d'un cube.
Source : (Miguet, Paule, 2010).

C'est un paramètre qui a une influence directe sur la forme architecturale et urbaine, il est considéré par les chercheurs comme le facteur le plus important dans les performances thermiques et bioclimatiques d'une forme donnée (Maazouz, 2009).

Sous les mis-latitudes, plus ce ratio est haut, plus il a des implications positives par rapport à la radiation solaire de par l'importante surface des façades exposées au soleil. « La forme de bâtiments est conditionnée par les variations des dimensions que peuvent avoir les formes différentes ; car deux bâtiments de même volume mais de formes différentes présentent un ratio (Cf) différent... » (Kedissa, 2010, p97)

III.5.4. La densité bâtie (D_b) :

D'après Merlin et Choay (citée par Ait-Ameur, 2002), la densité bâtie ou la densité d'occupation du bâti fait référence à l'emprise des bâtiments sur le parcellaire. Elle varie selon le mode d'occupation de l'espace. Les centres des villes comme exemple sont souvent plus confinés que les périphéries, car les parcelles sont occupées en totalité, les constructions sont proches et serrées entre elles, la cause qui va pousser la production des masques solaires. On peut conclure que la densité bâtie est un paramètre déterminant de la quantité des surfaces réceptrices du rayonnement solaire.

La densité bâtie est évaluée par le rapport de la surface totale de l'emprise des bâtis au sol à la surface totale du périmètre de calcul considéré. Elle est exprimée par l'équation suivante (Aït-Ameur et Adolphe, 2002 cité par Ahmed.O.F, 2007) :

$$D_b = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} A_{p_i}}{A_s} \dots\dots\dots [3]$$

Où A_p : représente la surface de plancher du bâtiment i ;
 A_s : surface totale; et
 i : nombre de bâtiments au sol.

Partant de cette équation, il est possible de calculer la valeur numérique de la densité bâtie en utilisant la carte d'occupation au sol. Cette dernière est présentée sous forme d'image en noir et blanc; où le noir signifie l'espace bâti et le blanc l'espace non bâti (voir figure 3.34).

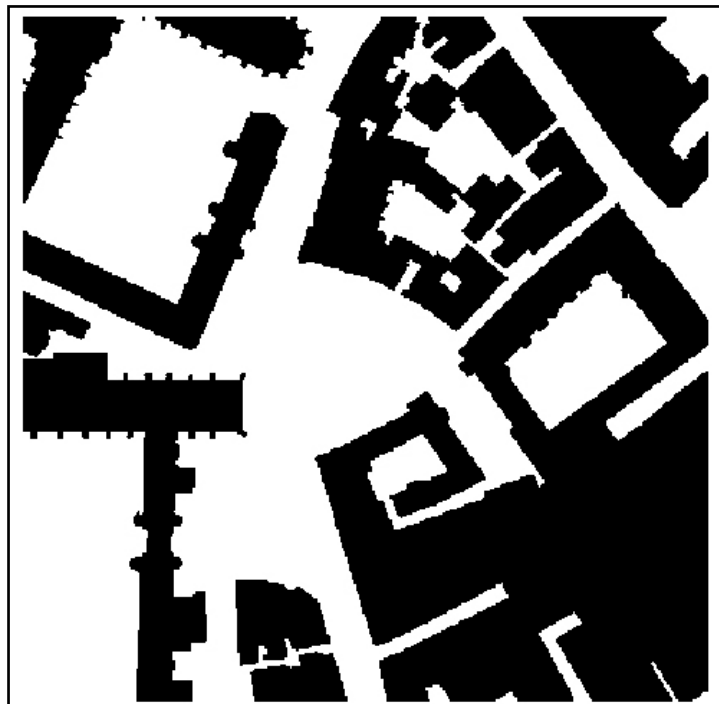


Figure 3.34. Carte d'occupation du sol. Une image en noir et blanc où le noir indique une zone construite et le blanc un espace ouvert.
Source : (Nikolopoulou, 2004)

III.6. CONCLUSION :

Ce chapitre constitue une orientation pour la bonne compréhension des caractéristiques géométrique de la forme urbaine et les phénomènes produits par l'interaction entre ces espaces et la radiation solaire, ainsi une bonne maîtrise de tous les dispositifs liés au contrôle de l'accès solaire. Tous ces dispositifs seront un outil important dans l'analyse de notre cas d'étude. Ce qui est présenté est un ensemble d'idées et solutions proposées par différentes recherches anciennes et récentes.

On peut répartir le présent chapitre en trois grandes parties, la première vise à décomposer et déchiffrer le spectre des significations que représente le terme '*forme urbaine*'. Une bonne compréhension de la forme urbaine va nous aider à assurer la bonne maîtrise de tous ses dispositifs liés au contrôle de l'ensoleillement.

En deuxième partie, on a présenté un état de l'art sur les différentes approches et recommandations liées à l'ensoleillement dans le milieu urbain. L'histoire montre que les problèmes de contrôle de l'ensoleillement fournissent un substrat évident à la création formelle en architecture. Différentes théories ont été proposées comme solutions liées aux problèmes d'orientation, de configuration, de proportion et dimensionnement. Les solutions diffèrent suivant le temps, le climat et la latitude. Néanmoins, la position du soleil et l'état du ciel affectent largement le choix de la forme et doivent être considérés lors de la conception.

Il est remarqué qu'à l'exception de quelques tentatives, il n'existe pas de recherches sur l'optimisation de la forme urbaine dans les climats semi-aride. L'avantage est toujours pris par les deux cas extrêmes : la maximisation des gains solaires à cause des grands besoins en matière d'énergie solaire propre dans le climat froid ou encore la minimisation des apports solaires d'été dans le climat chaud et aride au préjudice de climat semi aride dont l'optimisation doit tenir en compte les deux cas opposés : bénéficier de l'énergie solaire au maximum en hiver et se protéger des rayons solaires indésirables avant qu'elles frappent les surfaces verticales de l'enveloppe bâtie en été. Une dualité qui pose un problème sérieux aux concepteurs et suppose d'être abordée avec des outils efficaces.

Plusieurs outils de simulation physique et méthodes d'optimisation ont été proposées. Des méthodes nouvelles existent également pour la conception de dispositifs solaires permettant de concilier efficacité et créativité architecturale.

Dans la troisième partie, on a défini une série d'indicateurs de performance urbaine qui vont servir cette étude par la suite. L'accent est porté sur ceux qui ont un impact sur l'ensoleillement que sont : (le facteur de vue de ciel, le profil H/L, le coefficient de forme et la densité bâtie). Ces indicateurs sont soit évalués directement sur le terrain, ou bien à travers un procédé de traitement d'image et de mesures sur plan. Nous définirons dans le chapitre qui suit les différentes méthodes et outils utilisés dans l'évaluation et l'optimisation en question.

Chapitre 04,

Méthodes d'évaluation du potentiel solaire

Et procédé d'optimisation retenu

IV.1. INTRODUCTION:

Suivant les informations présentées dans les chapitres précédents, plusieurs architectes et planificateurs urbains célèbres ont conçu leurs bâtiments en traçant les rayons solaires sur la base de la course quotidienne du soleil. Cependant, ces premiers travaux de planification urbaine ont été réalisés manuellement sans recours à des instruments modernes. De nos jours, les ordinateurs ont remplacé ces méthodes traditionnelles offrant des approches plus efficaces et plus précises.

A l'écart, l'exploitation intensive de l'irradiation solaire en milieu urbain apparaît plus en plus claire comme élément essentiel et stratégique pour favoriser le développement durable. Ce qu'il nous faut maintenant, ce sont des méthodes avancées pour l'étude de l'accessibilité des rayons solaires dans les différentes textures urbaines (*Compagnon, 2004*). Ces méthodes doivent naturellement bénéficier de la progression et du développement marqué dans le domaine de l'informatique.

Le présent chapitre fournit un petit aperçu sur quelques outils et méthodes appliqués par les chercheurs afin d'évaluer et de quantifier le potentiel solaire des façades et toitures situées dans les zones urbaines. Il s'agit dans un premier temps de définir et expliquer sommairement ces méthodes, ensuite de prendre un positionnement épistémologique et justifier un choix du modèle d'analyse.

Une description plus détaillée de l'approche retenue s'impose, avec l'explication de plusieurs démarches, les instruments d'analyse, ses étapes, ainsi la démarche adoptée.

IV.2. METHODES D'EVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE:

L'optimisation de l'accès de la lumière du jour dans les bâtiments et la maximisation des apports énergétiques gratuits appartiennent comme cibles de plusieurs recherches durant cette dernière décennie. La raison essentielle pour laquelle ces recherches sont effectuées est la démonstration de la contribution des techniques solaires au bilan énergétique des zones urbaines. A ce propos, deux informations ont une importance particulière (*Compagnon, 2004*): le modèle de l'ombre dynamique dus aux bâtiments et à l'environnement immédiat, et les inter-réflexions voisins entre les surfaces de cet ensemble.

Les deux informations précédemment citées sont issues à partir des simulations réalisées par faveur de nombreux logiciels développés spécialement pour finir cette tâche. Ces derniers sont inscrits, généralement, dans une politique visant la recherche d'évaluation du potentiel solaire énergétique et lumineux disponible dans un site urbain. Néanmoins, cette procédure d'évaluation nécessite aussi une recherche plus profonde dans les méthodes qui peuvent être suivies afin d'atteindre ces objectifs. Pour cette raison, (Compagnon, 2004 ; Faessler, 2010 ; Mardaljevic, et Rylatt, 2003 ; Yezioro, et Shaviv, 1994 ; Kämpf et Robinson, 2009) et plusieurs autres chercheurs ont essayé de proposer une gamme de méthodes suivies fréquemment d'outils pour aider le processus de conception et mesurer le potentiel des techniques solaires.

Les méthodes actuellement disponibles peuvent être séparées en trois larges catégories (Compagnon, 2004) : des méthodes basées sur les systèmes d'information géographique (SIG), des méthodes basées sur l'analyse de la géométrie solaire et finalement celles qui incorporent les méthodes de quantification énergétique et/ou lumineuse, basées parfois sur des données météorologiques.

Les différentes méthodes récentes qui s'inscrivent dans la première catégorie sont principalement conçues pour étudier le potentiel pour des applications d'énergie renouvelable dans des zones urbaines existantes.

La deuxième catégorie inclut la méthode de *l'enveloppe solaire* ainsi que toutes celles qui emploient les diagrammes solaires avec ses diverses projections géométriques. Celles-ci traitent principalement le rayonnement solaire direct et leur but est de contrôler l'ombre portée des bâtiments voisins.

La dernière catégorie contient plusieurs outils développés récemment. Leur utilisation permet de mesurer la quantité de rayonnement solaire qui atteint un endroit particulier sur une enveloppe de bâtiment. C'est une information très importante dans le processus d'évaluation de la contribution de l'énergie reçue dans une zone urbaine.

Dans ce qui suit, on va essayer de présenter quelques méthodes d'évaluation du potentiel solaire et d'optimisation de la forme urbaine par l'évaluation de ce potentiel. Le classement précédemment démontré ne va pas être retenu dans la présentation, c'est plutôt une description sommaire de quelques méthodes qu'on a trouvés dans notre recherche bibliographique.

IV.2.1. Méthode d'analyse des ombres portés des bâtiments :

Développée par Dr Yezioro et Pr Shaviv de l'institut Israélien de technologie à Haifa (*Yezioro, et Shaviv, 1994*), cette méthode vient pour évaluer l'ensoleillement dans un environnement urbain. Elle est incorporée d'un logiciel CAD « *SHADING* », développé et adapté pour ce but, et avec lequel on peut analyser l'ombre portée mutuel entre les bâtiments et d'autres objets environnants. La raison essentielle pour laquelle cette méthode a été développée est de permettre aux concepteurs de prévoir et de maîtriser plus efficacement les diverses fonctions des espaces entre les bâtiments, autant que déterminer l'endroit approprié des collecteurs solaires actifs et des technologies passives.

Cette méthode permet d'effectuer un calcul rapide et efficace de rapport entre les surfaces ensoleillées et la surface totale de n'importe quel objet examiné. Le calcul de ce rapport peut être effectué pour tous les mois et les heures dans lesquels on cherche à évaluer l'ensoleillement. Les résultats et informations obtenues peuvent servir plusieurs modèles de simulation dynamiques, qui estiment la performance des différents systèmes solaires.

Le modèle *SHADING* a été développé à l'aide d'une station de travail graphique prenant avantage de la technologie informatique avancée dont l'idée nouvelle est d'analyser quantitativement le rapport entre les surfaces ensoleillées et celles qui sont à l'ombre. Ainsi, nous pouvons créer efficacement un fichier de données horaire, mensuelle ou saisonnier de toute surface donnée. Le fichier peut être utilisé ultérieurement comme une donnée en entrée de n'importe quel modèle de simulation afin de déterminer la performance thermique des bâtiments.

La méthode et l'outil de simulation ont été démontrés à travers une étude de cas basée sur une conception réelle d'un nouveau bâtiment d'hôtel. Le droit de l'accès au soleil était un facteur déterminant la conception du nouveau bâtiment à proximité du celui existant. Les figures 4.1, et 4.2 récapitulent les résultats obtenus. Le cas d'étude est composé de deux bâtiments : celui du Nord est un hôtel existant nommé *Hôtel Laguna*, et l'autre au sud est un nouvel hôtel proposé portant le nom *Hotel Shva* (voir la figure 4.1). L'ennui qui s'imposait face aux concepteurs du nouveau bâtiment c'est que ce dernier va empêcher l'ensoleillement de la piscine de l'hôtel *Laguna* durant les matins du mois de décembre. A ce propos, ils ont utilisé la présente méthode pour concevoir le nouveau bâtiment, et les résultats ont affirmé la performance de la nouvelle proposition. Elle garantit l'ensoleillement de la piscine durant toute l'année.

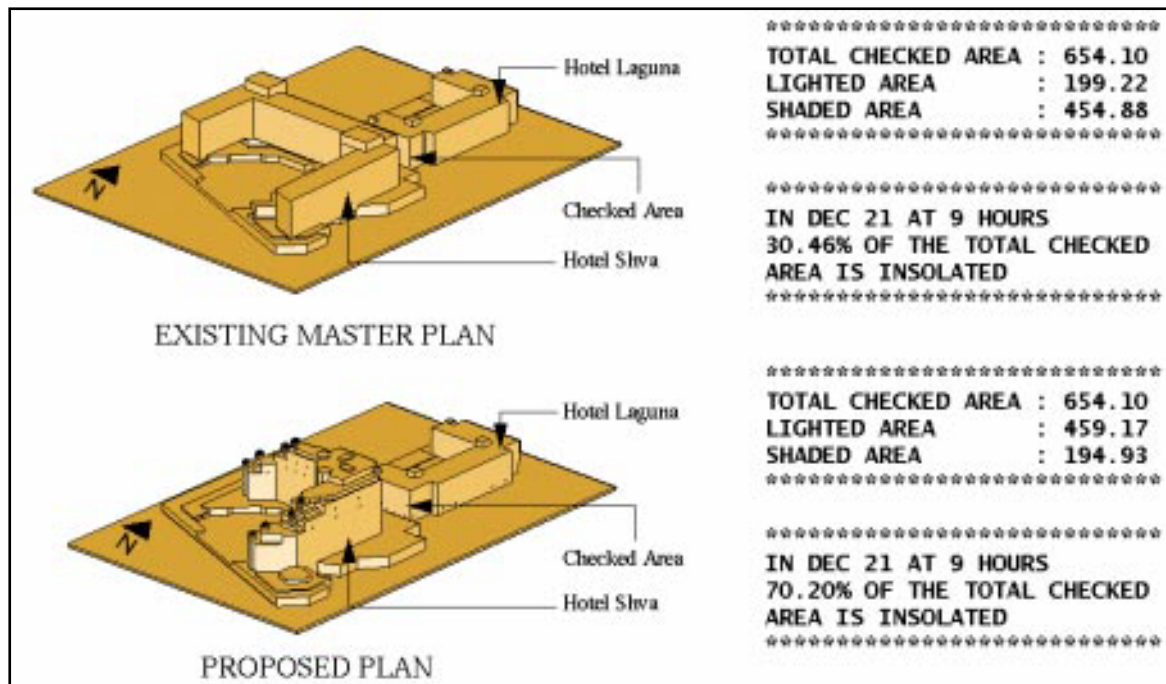


Figure.4.1. Décembre à 9heure am, une évaluation quantitative de l'ensoleillement de l'élévation sud de l'hotel Laguna.

Source : (Yeziro, et Shaviv, 1994, p3).

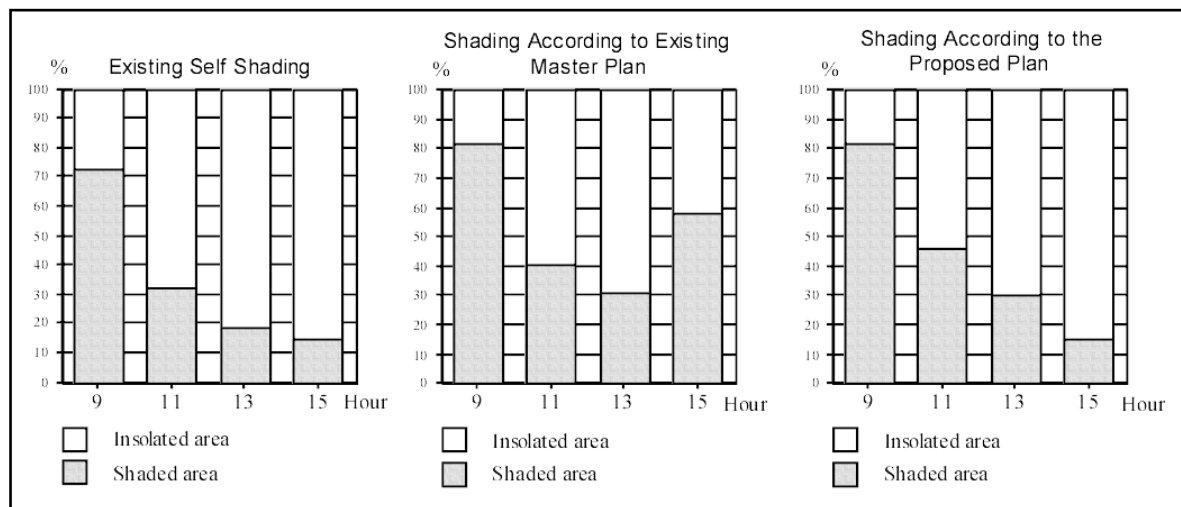


Figure.4.2. Une présentation graphique des surfaces à l'ombre et celles ensoleillées calculées, à différentes heures en mois de décembre.

Source : (Yeziro, et Shaviv, 1994, p3).

L'inconvénient de cette méthode c'est bien l'absence de l'évaluation quantitative énergétique et/ou lumineuse. Les résultats obtenus se sont limités dans le calcul des surfaces ensoleillées, c'est-à-dire l'évaluation est déterminée à la base d'un seul critère qui est le temps de l'ensoleillement, en excluant les deux critères les plus importants qui définissent l'intérêt de l'accès au soleil, à savoir : le critère énergétique, et le critère

lumineux. Néanmoins, les résultats de l'outil *SHADING* peuvent être utilisés dans d'autres logiciels de simulation de l'énergie solaire afin d'arriver à une évaluation multicritère plus précise et plus juste.

IV.2.2. Méthode de Faessler:

C'est une autre méthode d'évaluation du potentiel solaire créé par Faessler (*Faessler, 2010*) appliquée aux toitures dans un milieu urbain. En revanche, cette méthode paraît plus efficace quand il s'agit d'évaluer de manière plus globale un quartier ou une commune entière. Elle requiert le passage à un modèle semi-automatique qui utilise l'outil SIG¹ permettant le traitement d'un grand nombre d'information à la fois. Son grand avantage réside dans la possibilité d'automatiser les séquences de calcul et de produire rapidement des données géoréférencées, permettant une première estimation par bâtiment, quartier, commune ou région.

(*Faessler, 2010*), présente un travail qui s'est attelé à deux objectifs essentiels : le premier est d'utiliser un outil de calcul de l'irradiation solaire appelé *solar radiation* (c'est une *toolbox* dans le logiciel ArcGis) directement sur un modèle numérique de surface (MNS) pour comparer les résultats avec l'irradiation générée par d'autres méthodes d'évaluation. Le deuxième objectif est le développement d'une procédure semi-automatique de couplage de différentes statistiques géoréférencées avec cette ressource solaire issue du MNS (*méthode Faessler*), afin d'appliquer par la suite l'outil de manière systématique sur le canton de Genève.

La méthode et le processus d'évaluation ont été démontrés à travers une étude de cas des toitures du canton de Genève (voir la figure.4.3). L'estimation de la ressource solaire disponible sur chaque toit du cas d'étude commence par l'utilisation directe de l'outil de simulation *solar radiation* sur la zone de test sélectionnée dans le modèle numérique de surface (MNS) du canton, (voir la figure 4.4). Le résultat est donné mois par mois, et une valeur annuelle est calculée.

Cinq tests peuvent être effectués en utilisant cette méthode (voir le tableau 4.1) :

- Calcul de l'irradiation solaire annuelle sur MNS ;
- Calcul de l'irradiation solaire annuelle sur le terrain (h=0) et les toits plats ;

¹ Système d'information géographique.

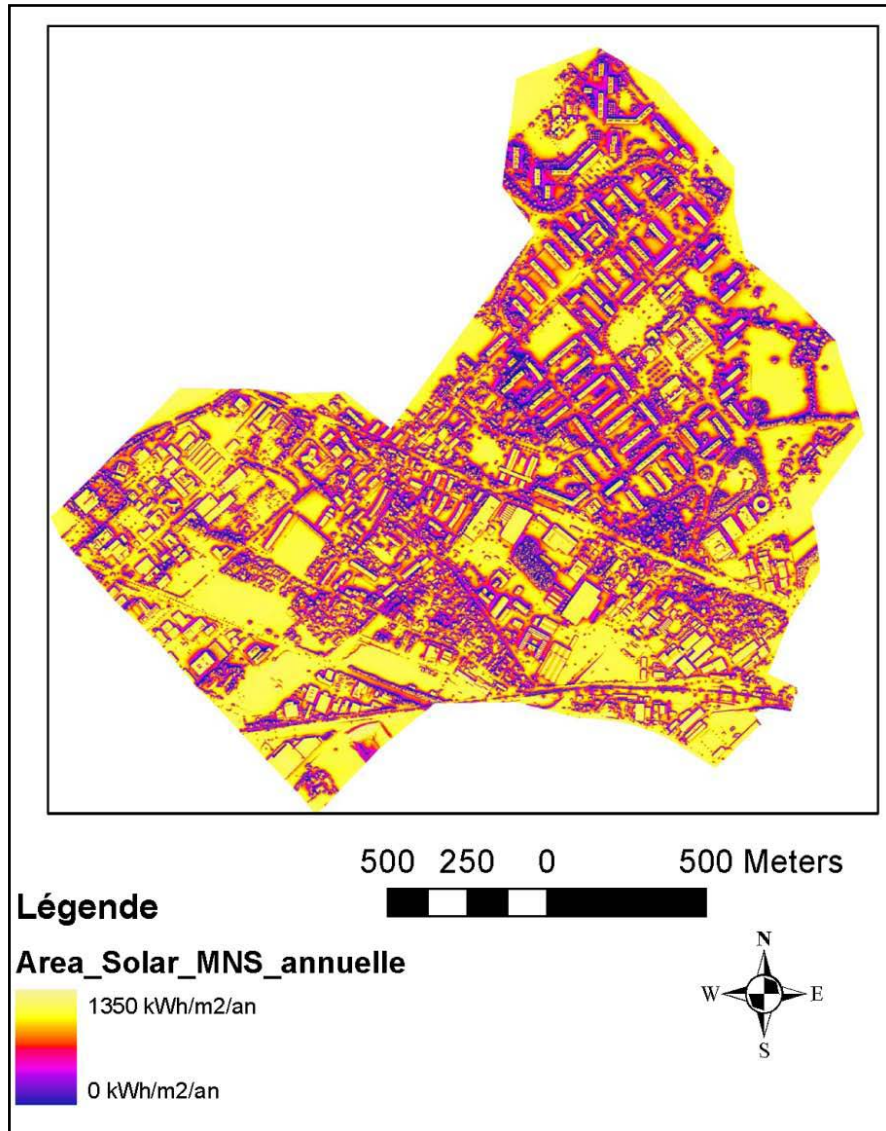


Figure 4.3. Irradiation annuelle de la zone test de Meyrin (selon input MNS) en kWh/m2/an.
 Source : Faessler, 2010, p23.

	Couche SITG retravaillée		
	Batiment_3D_Basic_Toit et Batiment_3D_SP_Toit	Batiment_3D_Basic_Toit et Batiment_3D_SP_Toit Exclusion pixel < 1'000 kWh/m	Geo_hauteur _bat
Outil <i>solar radiation</i> sur Modèle numérique de Surface (MNS)	Test 1	Test 5	Test 3
Outil <i>solar radiation</i> sur hauteur bâtiment moyenne et terrain = 0	Test 2		Test 4

Tableau 4.1. Résumé des différents tests effectués (zone test Meyrin).
 Source : Faessler, 2010, p28.

- Calcul de l'irradiation solaire annuelle sur la zone de sélection en retirant une couche d'un mètre autour des superstructures et d'un mètre à l'intérieur des toits. Cela permet d'éviter de comptabiliser des pixels qui seraient à moitié en façade. C'est-à-dire les zones de superstructures avec leur tampon sont retirées des zones de toits.
- Une autre possibilité de coupler l'irradiation solaire annuelle avec les bâtiments est d'utiliser la couche *geo_hauteur_bat* au lieu de la couche des toits et superstructures des toits issus de la 3D ;
- Afin d'étudier l'effet de l'agrégation des pixels pour chaque surface restante disponible des toits, un autre test peut encore être effectué pour éliminer tous les pixels plus petits que 1'000 kWh/m²/an avant de sélectionner les zones plus grandes que 20m².

Faessler a utilisé ces données ensuite pour effectuer une comparaison avec d'autres méthodes développées par des groupes de recherche, à savoir : la méthode Radiance (LESO-EPFL) ², la méthode LIDAR (Carneiro-Morello-Desthieux), et la méthode Mermoud. Les différences importantes qu'on peut retirer de cette comparaison sont les suivantes :

- Avec l'outil semi-automatique *solar radiation*, la qualité du toit (nature des matériaux, état, transformations) n'est pas connue, ce qui peut être un facteur limitant. Par exemple, des toits n'ont pas été pris en considération dans l'étude Mermoud étant donné la structure en tuile sur laquelle il est impossible de poser des panneaux PV. Dans la méthode Faessler, cette fonction n'est pas prise en considération.
- Ce qui est intéressant dans cette méthode est de pouvoir utiliser directement le MNS, ce qui évite d'avoir à reconstruire les objets 3D pour les rajouter dans le MNT (comme cela est fait pour Radiance).
- Si on veut des statistiques détaillées pour un toit spécifique, cette méthode est assez approximative et ne permet pas de régler correctement certains effets de pente ou de bords de toits. Par contre, si le traitement s'étale à un cadre plus large (le cas d'une commune ou une ville) l'utilisation de la présente méthode paraît plus appropriée.
- Cette procédure aurait l'avantage de ne pas coûter cher pour des communes, des propriétaires ou des régions intéressés à avoir une évaluation rapide d'un potentiel réel de surface solaire à disposition dans leur parc de bâtiment avec une information géoréférée.

² C'est une méthode d'évaluation du potentiel solaire dans les zones urbaines développée par le professeur Compagnon. On va expliquer son processus en détail dans la section suivante.

IV.2.3. L'approche d'évaluation à base d'images (ICUE³) :

C'est une approche originale proposée par (Mardaljevic, et Rylatt, 2003) pour évaluer l'irradiation solaire incidente annuelle et/ou mensuelle dans les façades des bâtiments d'un environnement urbain. Cette approche utilise des techniques de visualisation pour produire des cartes d'irradiation (des images de faux-couleur présentant l'irradiation annuel/mensuelle). Ces cartes sont dérivées depuis des *séries de temps* horaire d'une année, et tiennent compte des ombrages de bâtiments et de l'inter-réflexion entre les surfaces. Elles peuvent être employées pour l'identification précise des endroits –dans les façades- où l'irradiation prend ses valeurs maximales afin de faciliter l'installation des technologies solaires (les panneaux photovoltaïques comme exemple).

Les images d'irradiation solaire et celles de la voûte céleste sont évaluées indépendamment. La contribution du ciel est calculée en utilisant des modèles réalistes de distribution de la radiance provenant du ciel. Dans le but d'encourager la considération de l'énergie solaire dans le procédé d'urbanisme, les résultats de l'analyse sont réadaptés d'une manière permettant leur liaison à un système d'information géographique (SIG).

Les buts de la conception de l'approche *ICUE* peuvent être résumés dans ce qui suit :

- La précise prévision de l'irradiation incidente sur les façades des bâtiments ;
- Surpasser toutes les limites pratiques relatives à la complexité de la scène ;
- La nécessité de la prise en compte de tous les ombrages et les inter-réflexions entre les bâtiments ;
- Les résultats doivent être présentés comme *images d'irradiation* ;
- L'automatisation du processus doit être possible.

La présente méthode est actuellement mise en application dans un logiciel s'exécutant dans les stations de travail équipées d'un environnement UNIX dont le système de simulation est une suite de programmes et scripts qui lance, traite, et visualise des images d'irradiation solaire. Ces images sont créées à l'aide du système de simulation Radiance.

Le processus de la méthode *ICUE* a été établi suivant cinq principales bases théoriques: la première, consiste à réduire le nombre de rendus relatifs aux trajectoires du soleil en transformant le problème du domaine de séries chronologiques au domaine de positions du

³ C'est l'abréviation de l'expression en anglais suivante: irradiation mapping for complex urban environments.

soleil. C'est-à-dire transformer les coordonnées horaires annuelle du soleil d'un lieu donné à une distribution d'altitude et azimuth. Cette distribution est divisée ensuite en casiers utilisant une grille de distribution arbitraire (figure 4.4.b). Le nombre de positions du soleil dans chaque casier est calculé⁴, et une moyenne de positions est évaluée (figure 4.4.c). la deuxième base théorique se résume dans le calcul d'une série de 179 rendus de radiance, un rendu pour chaque casier et l'image de la radiance totale annuelle due au soleil est synthétisée de ces 179 rendus. Un même procédé est suivi pour déterminer l'image de la radiance totale annuelle due au soleil dans un ciel couvert (figure 4.4.d).

La troisième base réside dans la création d'un modèle de radiance d'un ciel partiellement couvert en utilisant les deux modèles précédemment créés. Ce modèle va être utilisé dans la création des images d'irradiation dans les cas où la distribution de la radiance solaire est hétérogène.

Pour n'importe quel point de vue, ces trois bases sont effectuées. Après, les paramètres de rendu peuvent être saisis afin de modéliser les inter-réflexions de la lumière directe et diffuse entre les surfaces du modèle de ville. Plus tard, c'est les algorithmes du logiciel Radiance qui génèrent deux images présentant l'irradiation solaire annuelle sur les façades, une du sud-est l'autre du sud-ouest. Généralement, ces deux images sont suffisantes pour l'évaluation et la sélection des parties dans les façades dont l'irradiation prend ses valeurs maximales. Pour une évaluation complète, cinq points de vue peuvent être employés : un du haut et les quatre vues de cotés.

La figure 4.5 montre une image de l'irradiation solaire annuelle pour la ville de San Francisco issue en utilisant la méthode ICUE. Pour cette scène, les valeurs maximales de l'irradiation annuelle ont été localisées dans les façades ouest ensoleillées ainsi que celles orientées est.

La comparaison entre cette méthode et d'autre processus d'évaluation indique que l'ICUE est un système potentiellement très précis. Toutefois, cette précision influe négativement sur le temps de calcul. La création des images d'irradiation est une étape très longue, elle

⁴ L'ombrage de chaque casier dans la figure 4.5.c représente le nombre de positions du soleil (voir la légende).

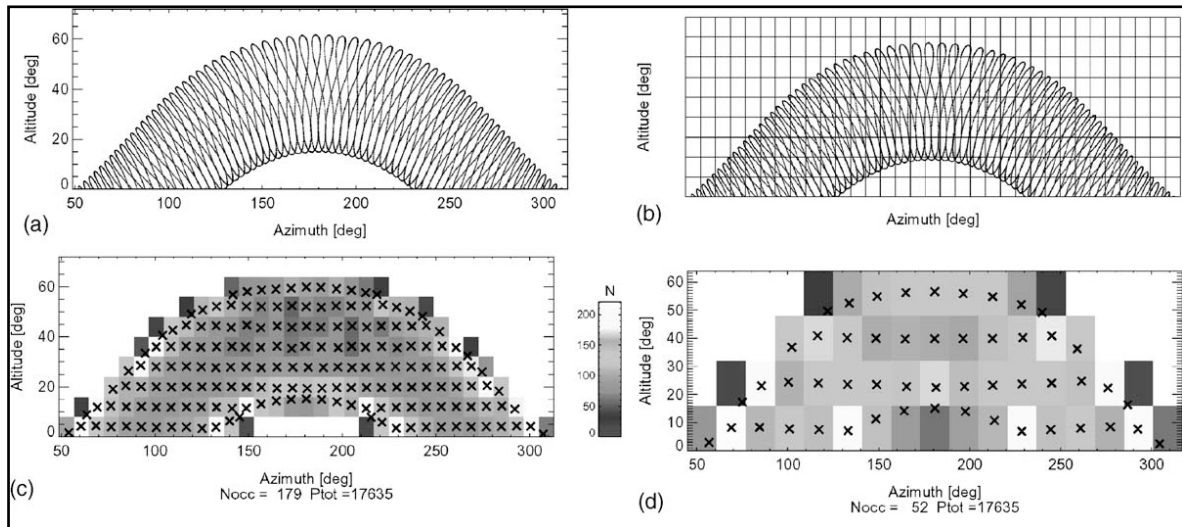


Figure.4.4. Approche ICUE : Procédé pour déterminer la position du soleil sur la base de trajectoire annuelle du soleil. (Pas de temps de 15 minutes).

Source : Mardaljevic, et Rylatt, 2003, p28.

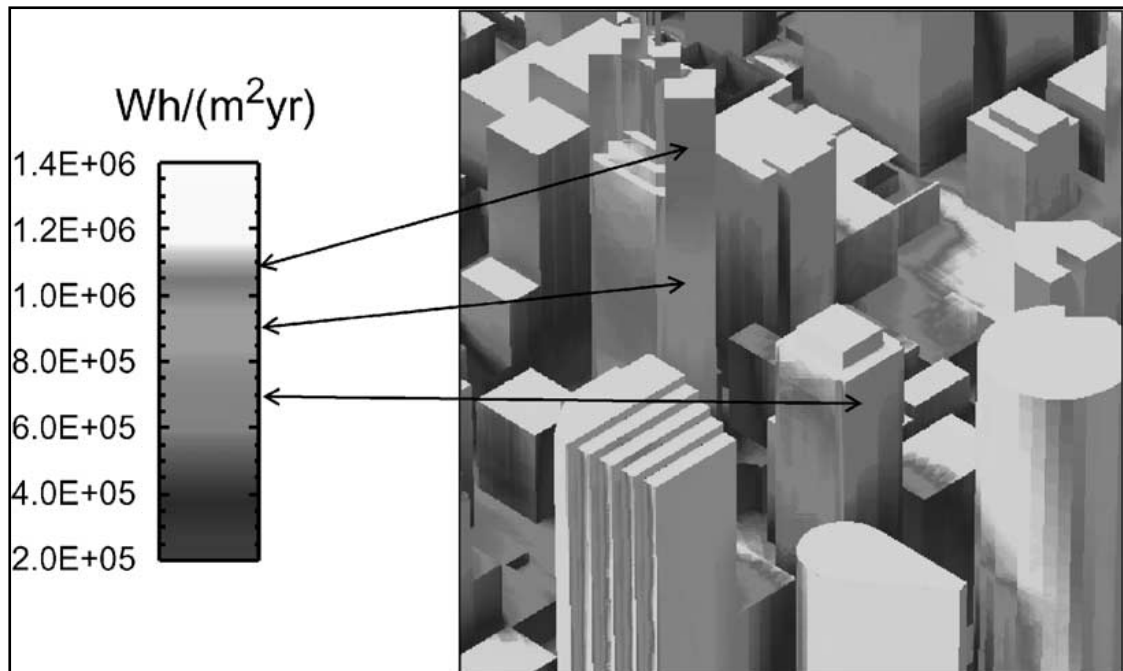


Figure.4.5. carte de l'irradiation solaire annuelle pour San Francisco (basée sur un model VRML)

Source : Mardaljevic, et Rylatt, 2003, p31.

est généralement effectuée par lots durant la nuit. Cependant, La distribution non homogène de l'irradiation dans les environnements complexes est facilement appréciée dans les rendus.

Dans ce qui suit, on va décrire en détail un processus d'une approche suivant les mêmes bases théorique de l'approche ICUE, et utilise le même outil de simulation *Radiance* pour calculer l'irradiation solaire. Mais, elle présente l'avantage de déterminer à l'aide d'une

technique de filtration, la surface en (m²) de l'enveloppe étudiée appropriée à une technologie solaire donnée. Le deuxième avantage c'est que l'évaluation dans cette nouvelle méthode ne se limite pas à un seul critère (le calcul de l'irradiation) mais elle s'étale vers un deuxième critère qui est l'éclairement.

IV.3. PROCESSUS DETAILLE DE L'APPROCHE

RADIANCE (LESO-EPFL):

IV.3.1. Généralités :

C'est une méthode pour évaluer l'utilisation de l'énergie solaire développée par le professeur Raphaël Compagnon à l'université des Sciences Appliquées de la Suisse (HES-SO) dans le cadre du projet PRECis⁵ (*Compagnon 2000, Compagnon, 2004, Montavon, 2010*). La méthode a été suivie par l'élaboration d'un outil de simulation nommé *PPF* qui utilise les algorithmes du logiciel Radiance pour déterminer les échanges radiatifs entre la voute céleste et le contexte urbain.

Suivant cette méthode, l'évaluation de l'énergie finale qui peut être produite par des applications solaires ou conservée en utilisant des stratégies d'éclairage naturel dans un environnement urbain doit suivre quatre étapes :

1. Traiter les caractéristiques climatiques du site afin de construire des modèles de ciel représentatifs annuel et/ou saisonniers, radiométrique et photométrique. Le premier est nécessaire pour toutes les applications de l'énergie solaire tandis que le second est utilisé pour évaluer la contribution de la lumière du jour à l'éclairage des bâtiments.
2. Les caractéristiques géométriques des bâtiments : les reliefs du site et les paramètres complémentaires tels que les réflexions des surfaces et les ratios des façades vitrées doivent être intégrés dans un modèle numérique 3D.
3. Les deux modèles doivent être traités par un outil de simulation informatique pour calculer l'énergie solaire globale incidente et l'éclairement reçus par les enveloppes de bâtiments.
4. Les capteurs solaires et les systèmes d'éclairage naturel doivent être placés dans des endroits bien spécifiques, et leur contribution dans les bilans énergétiques doit être calculée par des outils de simulation énergétique spécialisés. A ce stade, les détails techniques et

⁵ Assassing the Potential for Renewable Energy in Cities : un projet de la direction générale de science, recherche, et développement du programme d'énergie non nucléaire de la commission européenne. Il vise à évaluer le potentiel des énergies renouvelables dans les villes.

constructifs des bâtiments ainsi que le comportement des occupants jouent un rôle important qui peut finalement être représenté comme *facteurs d'utilisation*.

La relation entre les quatre étapes précédemment citées peut être exprimée comme une symbolique équation dont le signe \Downarrow désigne une opération effectuée par un outil informatique de simulation (*Compagnon 2000, Compagnon, 2004, Montavon, 2010*) (voir Figure 4.6).

IV.3.2. L'évolution de l'outil du développement :

Le schéma 4.1 montre la structure générale de l'outil issu de cette démarche d'évaluation. Il comprend plusieurs composants qui ont été programmés pour fonctionner sur le système d'exploitation UNIX sur lequel RADIANCE a également été développé. Plus tard, l'outil a été testé avec succès sur Sun SPARC-stations, les stations de travail Silicon-Graphics et les PC équipés d'un système Linux.

DOSKYMDEL est un programme visant à construire les modèles de ciel appropriés aux caractéristiques climatiques du site étudié. Il utilise un modèle de ciel existant développé par Perez et al pour obtenir les distributions de radiances et de luminances sur la voûte céleste. Pour cela, les données climatiques requises (valeurs d'éclairement direct et diffus horaire) sont obtenus à partir du logiciel METEONORM. Les modèles peuvent être calculés en tant que valeurs moyennes annuelles ou mensuelles, et pour réduire la quantité de données, les distributions sont calculées en utilisant la subdivision standard de l'hémisphère céleste en 145 zones. Même la composante directe est répartie entre ces zones.

Les modèles numériques 3D sont générés à l'aide du programme PPF. Il n'a pas besoin de modéliser des bâtiments avec tous leurs détails constructifs, une description géométrique simplifiée des positions et formes des bâtiments sans détail constructifs sur les façades est plus que suffisante pour effectuer la procédure d'évaluation. On peut aussi importer des données géométriques en fichiers DXF à travers le convertisseur DXF2PPF. Cependant, la réflexion des surfaces et le ratio de vitrage doivent être pris en compte en vue de leur effet significatif sur la pénétration des flux énergétiques et lumineux dans le milieu urbain.

Une fois le modèle est décrit en détail dans PPF, diverses fonctions permettent la modification ou la sauvegarde des données, ainsi que la génération des fichiers d'entrée exigés par PFCALC. L'utilisateur peut également recueillir quelques statistiques directement du PPF.

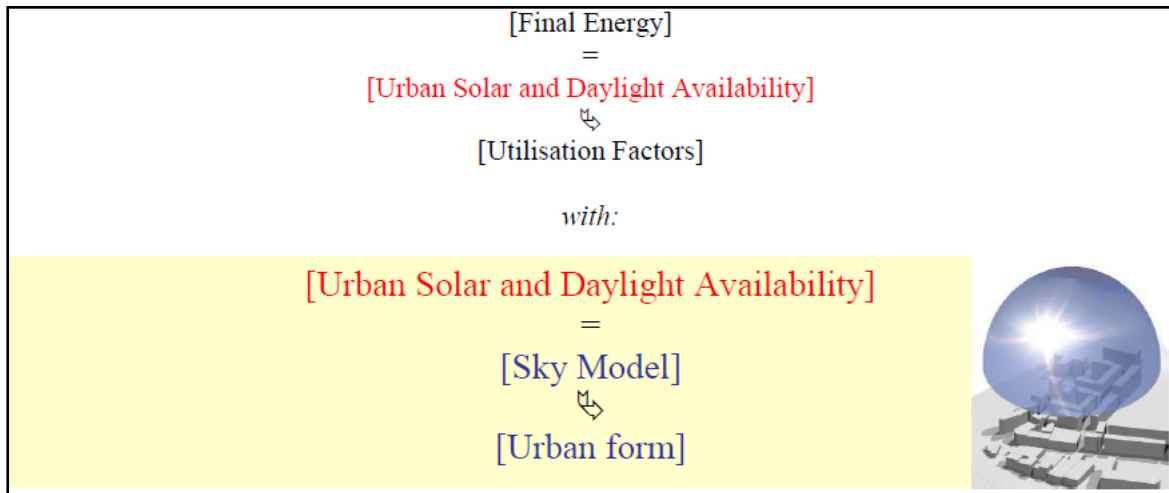


Figure. 4.6. La relation entre les étapes de l'évaluation du potentiel solaire suivant l'approche Radiance (LESO-EPFL).

Source : Montavon, 2010, p64.

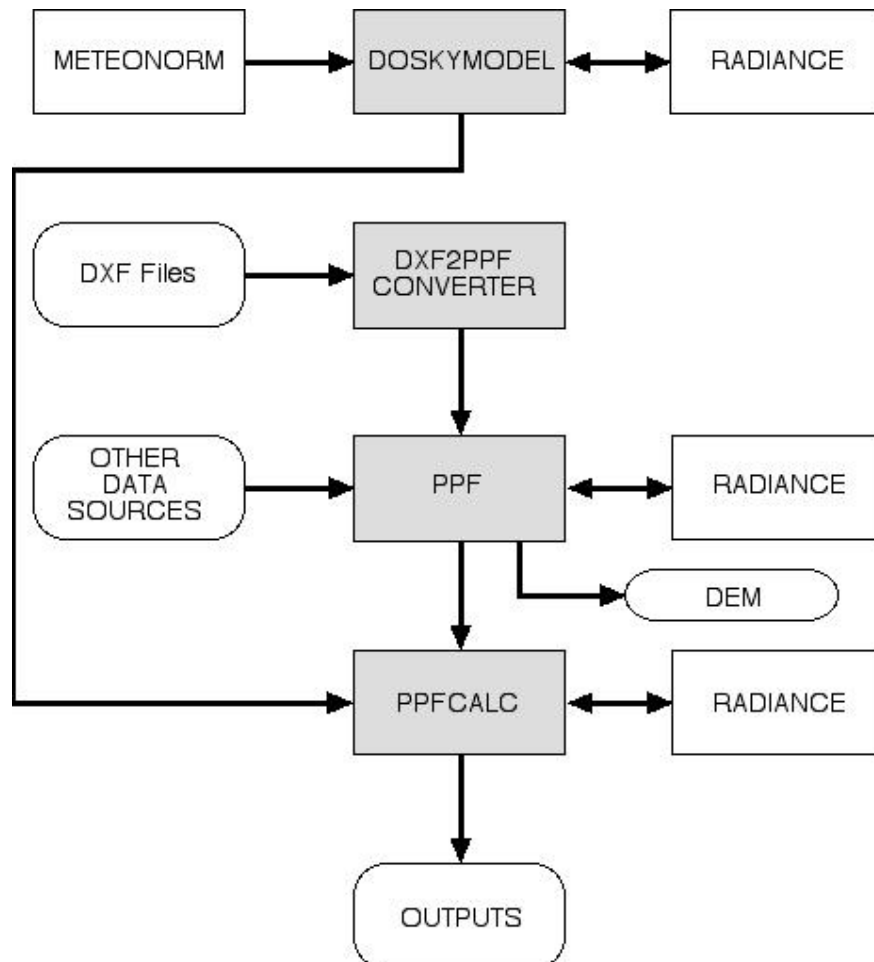


Schéma.4.1. La structure générale de l'outil. Les composants qui ont été développés spécifiquement pour le projet PRECis apparaissent en gris. Les flèches indiquent les flux de données entre les différents modules. Radiance est utilisé comme machine de calcul à trois endroits.

Source : Compagnon, 2000, p9.

Une fois le modèle est décrit en détail dans PPF, diverses fonctions permettent la modification ou la sauvegarde des données, ainsi que la génération des fichiers d'entrée exigés par PPF_CALC. L'utilisateur peut également recueillir quelques statistiques directement du PPF.

Afin d'automatiser tous les calculs de RADIANCE effectués sur les modèles (séries d'énergie solaire globale « en W/m^2 » et de luminances « en Lux »), et pour être sûre que les résultats sont toujours produites en utilisant les mêmes paramètres de calcul, des procédures automatisées ont été développées et regroupées dans le composant PPF_CALC. Souvent, les calculs tiennent compte de deux réflexions successives, mais le nombre peut être modifié pour des besoins spécifiques. PPF_CALC peut produire comme données de sortie : des images, des graphes, et des tableaux.

IV.3.3. Les données en sortie (outputs) :

La grande quantité d'éclairages et des énergies solaires annuelles a été réunie dans une représentation en histogrammes afin de donner une vue d'ensemble de la disponibilité de l'énergie solaire et de la lumière naturelle (voir la figure 4.7). Les surfaces des façades et toitures peuvent être séparées à ce stade. Ces représentations peuvent servir l'évaluation du potentiel de différentes applications de l'énergie solaire, soit : les techniques de chauffage solaire passif, l'intégration des collecteurs thermique et photovoltaïque, et les techniques d'éclairage naturel.

Des données numériques du potentiel solaire exigé pour profiter de quatre techniques solaires peuvent être obtenues. Dans le présent travail, vous trouvez ces données sous le nom « seuils », chaque seuil représente la quantité minimale de l'énergie solaire nécessaire pour l'installation d'une technologie solaire donnée. Plus de détails sur ces données seront présentés dans le processus d'évaluation retenu pour notre travail.

L'orientation d'une zone urbaine peut être associée à l'axe des routes principales ou à l'orientation des façades prédominantes des bâtiments. Pour l'analyse de l'énergie solaire et de l'éclairage, la méthode la plus simple serait de calculer la surface des façades orientées vers chaque direction. Ensuite, ces surfaces peuvent être regroupées en plusieurs secteurs d'azimut. Les secteurs qui contiennent la plus grande surface de façades indiquent les orientations où peuvent venir les quantités les plus élevées d'éclairages et d'énergies (voir la figure 4.8).

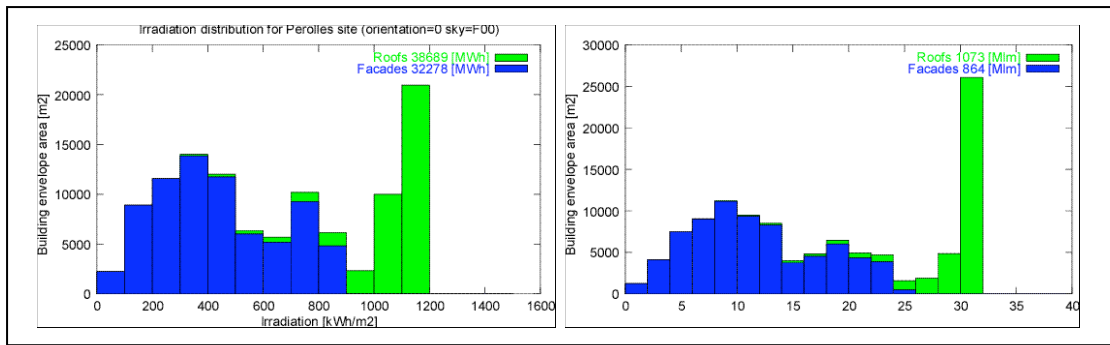


Figure.4.7. distribution de l'énergie solaire globale (à gauche) et l'éclairage lumineux (à droite) pour la zone de Péroilles.

Source : *Compagnon, 2000, p14.*

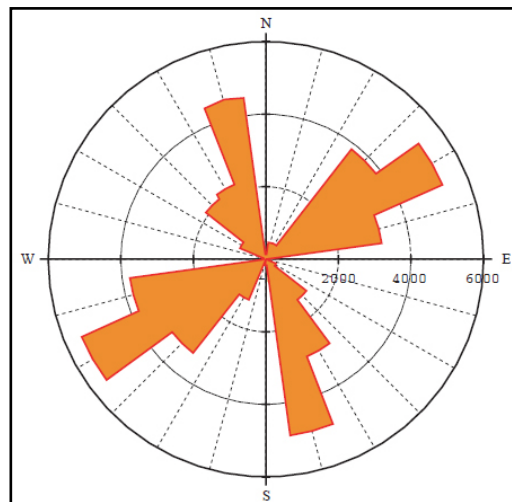


Figure.4.8. la rose d'orientation pour la zone de Péroilles montrant le SVF pondéré sur façades orientée vers chaque secteur d'azimut.

Source : *Compagnon, 2000, p19.*

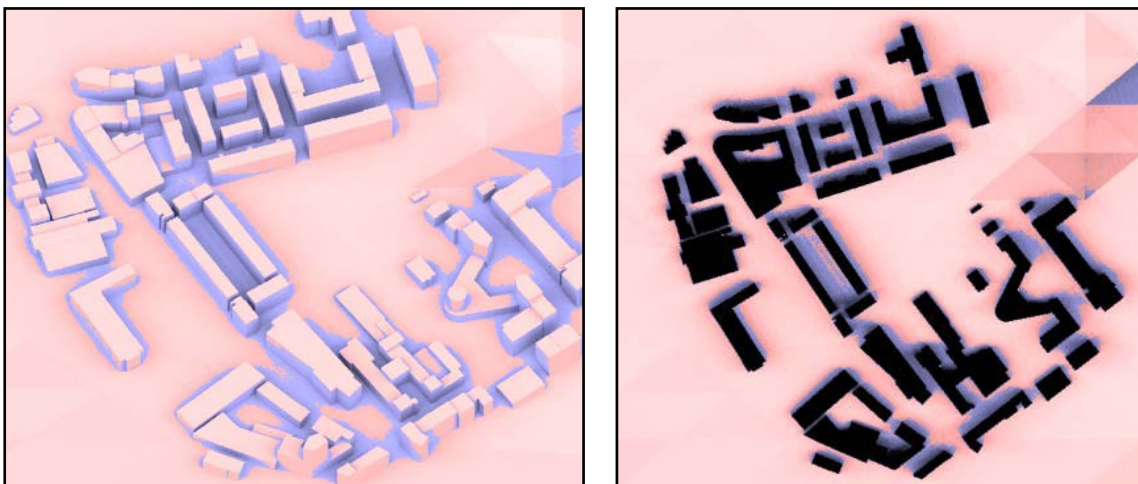


Figure. 4.9. visualisations du site de Péroilles. A gauche : l'énergie solaire globale annuelle G_i (colorée en rouge si $G_i > G_{pv_seuil}$, et en bleu si $G_i < G_{pv_seuil}$). A droite : l'énergie solaire directe horizontale dans la saison d'été au niveau des rues, colorée en rouge si elle dépasse 50% de l'éclairage direct horizontal dégagée, et en bleu si elle prend une valeur inférieure.

Source : *Compagnon, 2000, p20.*

RADIANCE peut également être utilisé pour produire plusieurs types de visualisations. La figure 4.9 montre deux exemples où l'utilisation des fausses couleurs aide à l'interprétation du contenu physique des images.

IV.3.4. Projets de recherche utilisant ce processus d'évaluation:

Cette démarche a été testée par des chercheurs du LESO⁶ de l'école polytechnique fédérale de Lausanne. Elle a été utilisée comme cadre méthodologique dans de nombreuses recherches : un projet international (Espaces Urbains Durables), deux projets européens (PRECis et RUROS), ainsi que plusieurs études relatives à la forme urbaine et les énergies renouvelables dont on peut citer comme exemples :

1. Des travaux de comparaison de l'utilisation du potentiel de l'énergie solaire dans différents environnements urbains (*Montavon, et Al, 2004 ; Scartezzini, et Al, 2002*). Ce sont des recherches qui ont pris différents sites urbains (Matthaeus, Bellevaux, et Meyrin), représentant plusieurs grandes villes en suisse (Bâle, Lausanne, et Genève). Les sites ont été examinés en suivant la méthode de Compagnon afin d'évaluer leur potentiel solaire. Les distributions spatiales du rayonnement solaire et des flux de lumière naturel sur les façades et les toitures des bâtiments ont été calculés en utilisant une technique de simulation de *lancer de rayons*. L'objectif est de déterminer le placement approprié des différentes technologies solaires (actif et passif, solaire photovoltaïque et l'éclairage naturel). La comparaison des résultats observés pour les trois sites urbains affirme, que dans tous les cas étudiés, les valeurs et les surfaces utiles appropriées pour les technologies solaires sont importantes. presque la moitié de la surface de l'enveloppe du bâtiment (façades et toitures) reste appropriée pour l'utilisation des technologies solaires malgré les obstructions et l'effet de canyon urbain qui caractérisent les tissus urbains ;

2. En 2006, Cheng (*Cheng, et Al, 2006*) a présenté lors de la 23^{ème} conférence de l'architecture passive à Genève un travail présentant l'effet de la densité urbaine sur le potentiel solaire. la recherche comprend la simulation solaire de dix-huit modèles génériques en utilisant l'outil et la méthode d'évaluation créée par le professeur Compagnon. Chacun de ces modèles représente une combinaison particulière de la forme et de la densité bâtie. Elle examine les relations entre les formes construites, la densité, et le potentiel solaire à la référence de trois critères de conception, à savoir : l'ouverture au

⁶ Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne dirigé par le Professeur Jean-Louis Scartezzini.

niveau du sol qui est fortement liée au confort des piétons, le facteur de lumière du jour sur les façades qui indique la performance lumineuse à l'intérieur des bâtiments, et le potentiel photovoltaïque sur l'enveloppe de bâtiments qui représente une partie importante de l'application des techniques renouvelables à l'échelle urbaine. Les résultats de cette étude suggèrent quelques recommandations utiles pour la planification des villes à haute densité : la première est la disposition horizontale aléatoire des bâtiments, c'est-à-dire dans la condition d'utiliser une même surface du sol (emprise au sol), il est plus souhaitable d'organiser les blocs de bâtiments en disposition éparpillé qu'en rangs uniformes. Aussi, les arrangements avec des hauts bâtiments, petite couverture du site, et espace plus ouvert sont plus préférable que ceux avec des bâtiments de petite hauteur et forte densité.

3. Dans une tentative d'optimisation de la forme urbaine pour une meilleure utilisation de l'énergie solaire, Montavon (*Montavon, 2010*) a comparé des formes urbaines existantes et théoriques pour explorer les divers effets de la densité construite, de l'orientation, de la forme bâtie, et de dimensions des éléments de la forme urbaine sur la lumière naturelle et sur le potentiel solaire. Dans un premier temps, elle a modélisé et analysé six sites urbains existants, quatre en Suisse, deux au Brésil et deux projets dans le Royaume-Uni, ainsi que quelques formes urbaines génériques et une ville utopique. Ensuite, elle a utilisé la procédure d'évaluation créée par le professeur Compagnon dans son procédé d'analyse. Des valeurs de rayonnement solaire et d'éclairement par la lumière naturelle obtenus par simulations numériques à l'aide du logiciel d'analyse de performances urbaines (logiciel PPF/RADIANCE) constituent le cœur de cette procédure d'évaluation. Cette procédure permet d'évaluer le potentiel du chauffage solaire actif et passif, la production d'électricité photovoltaïque ainsi que l'éclairage naturel en façade et en toiture des immeubles. Les résultats obtenus par l'analyse de ces différents cas ont révélé de grandes variations du potentiel solaire sur l'enveloppe des bâtiments. Idéalement, ces investigations pourront aider les architectes et les urbanistes à optimiser le potentiel solaire dans la phase conceptuelle de leurs projets.

En s'inspirant de ces recherches et de la méthode présentée antérieurement (Radiancia « LESO-EPFL »), il est apparu que le calcul des surfaces répondants aux conditions d'installation des techniques solaires et un moyen efficace d'évaluation de la forme urbaine. C'est la technique qui va être adoptée dans cette recherche. Mais, l'absence de l'outil d'analyse de performances urbaines (logiciel PPF/RADIANCE) présente un sérieux enjeu pour l'application de la méthode. A cet effet, nous allons essayer de chercher une

combinaison entre certains outils disponibles qui va permettre l'exécution des différentes étapes d'évaluation. Nous présentons dans ce qui suit les logiciels retenus, les techniques de mesure choisies pour la quantification du potentiel solaire, ainsi que les protocoles d'évaluation et d'optimisation adoptés.

IV.4. L'ELABORATION D'UN MODEL D'ANALYSE

Durant la phase de conception d'une zone urbaine, le concepteur traite différentes caractéristiques géométriques liées à l'orientation et dimensions des rues, forme et taille des bâtiments...etc. Cette tâche plutôt complexe peut conduire à une décision qui va fortement influencer le droit à l'ensoleillement. Les nouveaux bâtiments peuvent réduire l'accès de la lumière du jour à l'intérieur des locaux et mettre à l'ombre des voisinages existants et compromettre sérieusement leur performance énergétique.

Pour ces raisons, il est impératif que des outils et méthodes d'évaluation soutiennent les architectes et les planificateurs lors du commencement du processus de conception. Comme il a été signalé précédemment, la méthode d'évaluation proposée par le professeur Compagnon est retenue en vue de sa faisabilité, sa perfection et le degré de précision qu'elle présente, et son originalité illustrée dans l'avantage de décomposition du potentiel solaire vers des privilèges quantifiables liés directement à des techniques, stratégies, et applications solaires.

La présente partie d'étude sera développé sur deux principales parties afin d'arriver à un processus méthodologique qui, en l'exécutant, peut confirmer ou infirmer l'hypothèse répondant sur la problématique. Sera consacré à une étude méthodologique, qui vise en premier lieu à élaborer un processus d'évaluation du potentiel solaire dans un milieu urbain. En deuxième lieu, c'est l'exploitation de ce processus dans une étude expérimentale qui vise la vérification de l'hypothèse sur le terrain. Autrement dit, une observation des effets de la forme urbaine non contrôlée sur le potentiel solaire et la qualité lumineuse de l'environnement intérieur, puis l'essai de proposer, à travers des recommandations, une forme urbaine qui maximise le potentiel solaire et extrémise la performance environnementale.

IV.4.1. Processus général pour l'évaluation du potentiel solaire de cas d'étude :

Le but de cette partie d'étude consiste à fournir la procédure d'évaluation qui, à son exécution, va produire des informations concrètes sur les performances solaires globales que notre forme initiale du cas d'étude peut garantir et exploiter afin de soutenir des stratégies pour améliorer les performances environnementales des bâtiments considérés. Dans une deuxième étape, se servir de cette méthode ultérieurement dans la procédure d'optimisation. Cette démarche va aider à choisir, parmi plusieurs configurations, la seule qui présente les valeurs les plus élevées des surfaces appropriées aux technologies solaires suivantes : le chauffage solaire passif, les collecteurs thermiques et photovoltaïques, et l'éclairage naturel.

Suivant la méthode de Compagnon, la procédure d'évaluation s'effectue en suivant trois principales étapes :

1. Calculer l'éclairement et l'énergie solaire globale mensuelle, saisonnière, et annuelle ;
2. Calculer les seuils ;
3. Trouver les valeurs en m^2 des surfaces de l'enveloppe répondant à la condition de seuil.

IV.4.1.1. Calcul de l'éclairement et de l'énergie solaire globale

En vue de déterminer le placement approprié des différentes technologies solaires. Et dans le but de détermination des indicateurs de performance solaire, on doit d'abord calculer l'énergie solaire globale et l'éclairement annuel et pendant les mois d'hiver, sur toutes les faces de la géométrie. Dans les simulations de lumière, les énergies lumineuses (dans le spectre visible) émises en chaque triangle du ciel précédemment créé dépendent du type de ciel, mais aussi du temps (heure, jour et mois) ainsi que du lieu (latitude du projet) qui fixent la position du soleil dans le ciel. De même, dans les simulations solaires, c'est l'énergie rayonnée par le soleil directement et par la voûte céleste qui importe.

Du fait de l'indisponibilité de l'outil de simulation PPF, qui nécessite le déplacement vers le développeur, on s'est trouvé obligé d'utiliser un autre outil de simulation *Solene* présenté dans la deuxième partie du chapitre suivant. Cet outil montre l'inconvénient de l'impossibilité de calculer l'énergie solaire cumulée. A cet effet, nous avons adapté le procédé présenté dans la figure ci-dessous (schéma 4.2).

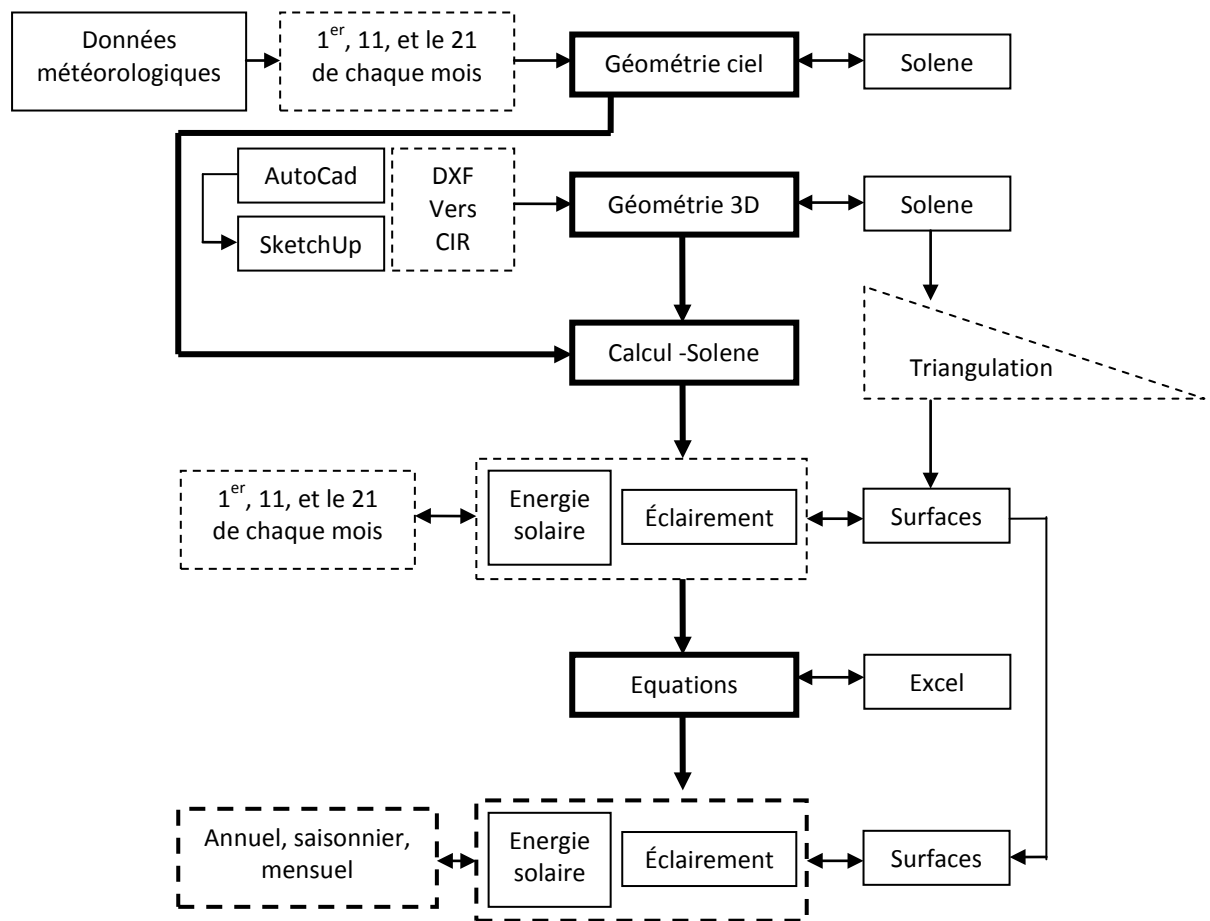


Schéma.4.2. procédé adapté pour le calcul des valeurs saisonnières et annuelles de l'éclairage et de l'énergie solaire globale utilisant le logiciel Solene.

Source : *Auteur*.

Suivant notre démarche, le calcul de l'énergie finale cumulée qui peut être produite par des applications solaires ou conservée en utilisant des stratégies d'éclairage naturel dans un environnement urbain doit suivre les quatre étapes suivantes :

- La création d'une géométrie ciel représentatifs de trois jours de chaque mois, à savoir : le premier, le onze, et le vingt et un. Le traitement des données météorologiques du site pendant les jours concernés est indispensable. Ensuite, évaluer la radiance et la luminance produite par ces modèles à l'aide du logiciel de simulation. Ces données vont être utilisés plus tard dans l'évaluation de l'éclairage et de l'énergie solaire.
- Créer le modèle 3D de la forme urbaine a étudié. Il s'agit d'une description des caractéristiques géométriques du cas d'étude : les reliefs du site, les réflexions des surfaces, le forme et la position de bâtiments... etc à l'aide du logiciel de conception assisté par ordinateur AutoCad. Le modèle sera exporté ensuite vers le logiciel de

simulation. Une opération de triangulation doit être réalisée afin de diviser l'enveloppe d'ensemble à des petites unités de surface afin de permettre l'évaluation précise de l'énergie solaire sur chaque portion de l'enveloppe.

- Les deux modèles seront traités après par l'outil de simulation pour calculer l'énergie solaire globale incidente et l'éclairement reçus par les enveloppes de bâtiments. Les résultats obtenus s'approprient aux trois jours de chaque mois précédemment désignés
- La quatrième étape consiste à évaluer les valeurs cumulées de l'énergie solaire et de l'éclairement sur la base des résultats issues de l'étape précédente en utilisant l'outil de calcul *Excel*. Les opérations exécutées seront décrites ci-dessous.

Afin de déterminer les valeurs cumulées de l'énergie solaire, on s'est basé sur une méthode de calcul qui consiste à déterminer –en premier lieux- les gains solaires cumulés en une journée ($G_{cum/j}$). De calculer l'énergie solaire globale incidente sur tout fragment (triangle), chaque heure, du lever au coucher de soleil (G_{lever} , G_1 , G_2 , ..., $G_{coucher}$). Ensuite, multiplier la moyenne des valeurs résultantes par le nombre d'heures pour la journée définie pour le cumul (N_h).

$$G_{cum/j} = (G_{lever} + G_1 + G_2 + \dots + G_{coucher}) \times N_h \dots\dots\dots [1]$$

On va donc estimer l'énergie solaire globale cumulée mensuelle ($G_{cum/mois}$) à l'égard de trois jours pour chaque mois (le premier, le 11 et le 21), de multiplier le résultat de chaque jour par 10 afin de définir le cumul par mois, faire ceci pour tous les mois et additionner les résultats en vue de déterminer l'énergie solaire globale annuelle ($G_{cum/an}$).

$$G_{cum/mois} = [(G_{cum/j1} \times 10) + (G_{cum/j11} \times 10) + (G_{cum/j21} \times 10)] \dots\dots\dots [2]$$

$$G_{cum/an} = G_{cum/jan} + G_{cum/fév} + G_{cum/Mar} + \dots\dots\dots + G_{cum/Déc} \dots\dots\dots [3]$$

De la même manière, on va calculer l'éclairement lumineux moyen annuel, la seule différence c'est que l'éclairement sera calculé durant les heures de travail (de 8h à 18h). Pour calculer l'éclairement mensuel (E_{mois}), on prendra la moyenne des trois jours (1, 11 et 21).

$$E_j = (E_{8h} + E_{9h} + E_{10h} + \dots\dots\dots + E_{18h}) / 11 \dots\dots\dots [4].$$

$$E_{mois} = (E_{j1} + E_{j11} + E_{j21}) / 3 \dots\dots\dots [5].$$

L'éclairement moyen annuel incident en provenance du ciel pour chaque fragment de la géométrie (E_{an}) est la moyenne des valeurs calculées pour chaque mois (E_{mois}).

$$E_{an} = (E_{jan} + E_{Fév} + E_{Mar} + \dots + E_{Déc}) / 12 \dots \dots \dots [6].$$

IV.4.1.2. Calcul de seuils

Dans le but de quantifier le potentiel disponible pour les différentes techniques solaires, un seuil d'énergie solaire globale doit d'abord être défini. Une valeur de seuil indique la quantité minimale de radiations exigé pour chaque installation solaire afin d'être considéré (R. Compagnon, 2004). Dans la procédure d'évaluation retenue dans cette étude, quatre applications ont été étudiées : les techniques solaires passives, active, photovoltaïques et de lumière du jour.

IV.4.1.2.1. seuil pour les techniques solaires passives :

C'est une donnée requise pour égaliser le bilan énergétique entre les gains et les pertes de chaleur solaires pendant une saison de chauffage entière, Le paramètre G_{seuil} est calculé par la formule suivante :

$$G_{seuil} \text{ (kwh m}^2\text{)} = \frac{24 DD U}{1000 g n} \dots \dots \dots [7].$$

Dont :

U : le coefficient de perte de chaleur spécifique d'une fenêtre ;

g : est le SHGC ; transmission de l'énergie solaire de la fenêtre ;

n : facteur d'utilisation de l'énergie solaire ;

DD : Le *degré-jour de chauffe* en (Kj), correspond à la situation où la température moyenne de la journée est inférieure à la température de référence (TF).

IV.4.1.2.2. Seuil pour l'intégration des systèmes PV sur les bâtiments:

Pour les systèmes photovoltaïques, installés sur les façades de bâtiments, un seuil annuel d'énergie solaire $G_{seuil_{pv}} = 800 \text{ kWh/m}^2$ est actuellement considéré comme seuil raisonnable. Pour les toits qui disposent habituellement d'une exposition meilleure, ce seuil est augmenté jusqu'à 1000 kWh/m^2 (R. Compagnon, 2004).

IV.4.1.2.3. seuil d'éclairement pour les systèmes de lumière du jour :

Afin de définir un seuil E_{seuil} d'éclairement lumineux, Compagnon (Compagnon, 2000) a mis au point une relation simple entre l'éclairement lumineux moyen E_w de plan de travail et la moyenne d'éclairement lumineux vertical extérieur (sur l'enveloppe de bâtiment) E_o

$$E_w \text{ (lx)} = CUE_o \dots\dots\dots [8].$$

Où : CU est un coefficient d'utilisation.

Plusieurs coefficients CU ont été calculés pour divers systèmes de lumière du jour. Pour des ouvertures verticales, CU prend habituellement la valeur 0,05. Si l'éclairement lumineux moyen du plan de travail est fixe à $E_w = 500$ lx, la valeur- seuil pour les façades peut être estimée comme suite (R. Compagnon, 2004):

$$E_{seuil} \text{ (lx)} = E_w / CU = 10\,000 \dots\dots\dots [9].$$

IV.4.1.2.4. Seuil pour les collecteurs solaires actifs :

Pour les collecteurs solaires thermiques installés sur les façades des bâtiments, un seuil d'irradiation annuel de $G_{seuil_act} = 400$ kWh/m² est actuellement considéré comme seuil raisonnable au moins pour les collecteurs conventionnels plat. Pour les toits qui ont habituellement de meilleures expositions, ce seuil est augmenté jusqu'à 600 kWh/m². (Compagnon, 2004).

Le tableau 4.2 récapitule les différents seuils proposés selon leur facteur d'utilisation η et les moyennes des énergies solaires correspondantes.

Techniques solaire	Seuil pour les systèmes montés sur les façades	Seuil pour les systèmes montés sur les toitures
Réchauffement thermique passif	Vari conformément aux caractéristiques climatiques du site : c'est l'énergie nécessaire pour compenser toutes les pertes de chaleur durant la saison d'hivers.	
Systèmes de lumière du jour	10000 [Lux] moyenne de l'éclairement lumineux durant les heures de travail (8h:00-18h:00)	
Collecteurs thermiques solaires	400 [kWh/m ² .an] énergie solaire annuelle	600 [kWh/m ² .an] énergie solaire annuelle
Systèmes photovoltaïques	800 [kWh/m ² .an] énergie solaire annuelle	1000 [kWh/m ² .an] énergie solaire annuelle

Tableau 4.2. Récapitulatif des valeurs de seuils proposés.

Source : Auteur.

IV.4.1.3. Calcul de surface d'enveloppe répondant à la condition de seuil

Notre méthode d'évaluation consiste à obtenir une image représentative de la disponibilité d'énergie solaire et de lumière du jour sur la géométrie étudiée. Pour faire, on a commencé de calculer les séries d'énergie solaire globale (en KWh/m²) et de l'éclairement lumineux (en Lux) reçu sur toute une grille de triangles qui composent la forme urbaine. La deuxième étape réside dans le calcul des quantités d'énergie minimale requises pour l'installation et l'intégration des quatre technologies solaires précédemment désignées.

Dans ce qui suit, nous allons présenter l'étape finale illustrée dans le schéma 4.3. C'est une filtration de triangles (petites divisions de l'enveloppe à étudier). Un ensemble d'opérations dans Excel, permet la sélection de rectangles qui présentent des valeurs d'éclairement et d'énergie solaire, similaires ou supérieurs aux valeurs de seuils calculées.

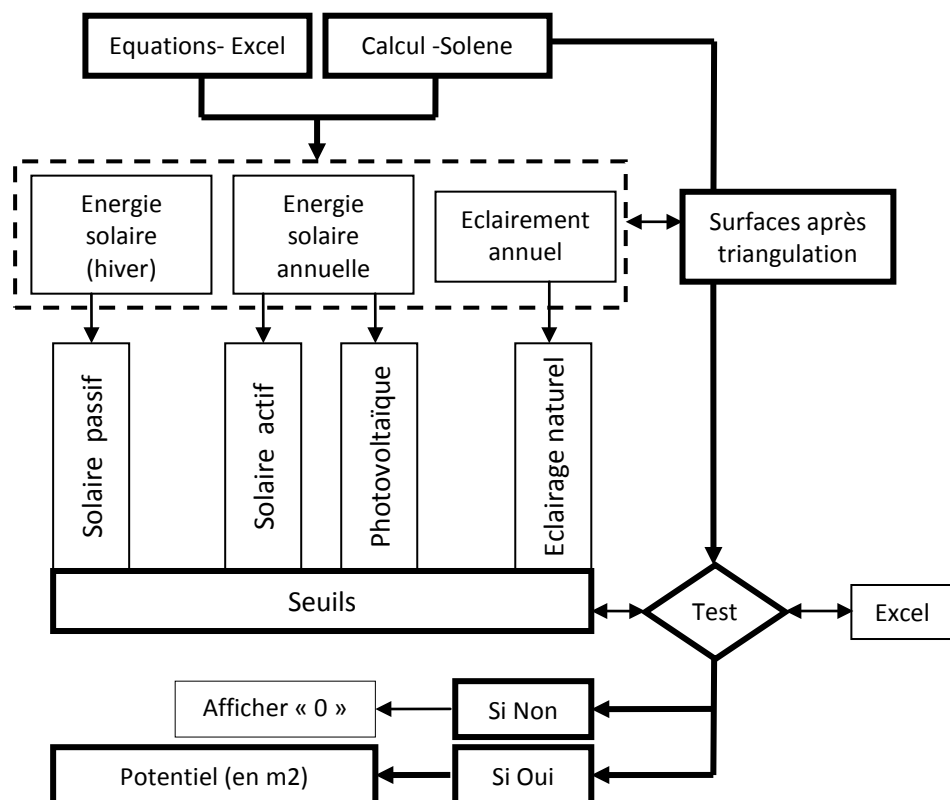


Schéma.4.3. procédure d'évaluation du potentiel solaire.

Source : *Auteur*.

Enfin, le potentiel pour les techniques solaires passives (P) peut être caractérisé en calculant le rapport entre les surfaces de l'enveloppe recevant une énergie supérieure à celle de seuil, et la surface totale de l'enveloppe. Ce rapport est déterminé par l'équation suivante :

$$P = 100 \times \frac{\sum S_i \cdot Z(G_i - G_{seuil})}{\sum S_i} \quad (\text{en } \%) \dots\dots\dots [10].$$

- $Z(x)$ peut prendre les deux valeurs « 0 et 1 » seulement (1 si $x \geq 0$; 0 autrement)

IV.4.2. Processus général pour l'optimisation de la forme urbaine par l'évaluation du potentiel solaire:

Divers problèmes peuvent diminuer la quantité d'énergie reçue sur les enveloppes de bâtiments durant une période donnée : orientation et pente du toit, ombrages d'autres bâtiments ou d'objets, ...etc. Différents outils plus ou moins précis peuvent être utilisés pour modéliser une zone urbaine ou un ensemble de bâtiments. L'idée présentée dans ce travail est d'utiliser une gamme d'outil suivant des étapes ordonnées, permettant de traiter plusieurs informations liées à la capacité des formes construites dans les milieux urbains de recueillir un maximum de flux urbains durant la saison froide.

Du fait que le but principal de ce projet est d'étudier les effets de la forme urbaine sur le potentiel pour l'énergie renouvelable dans les zones urbaines, on se concentrera dans cette partie sur la définition d'une approche de conception où le but est de décider des configurations urbaines nouvelles. Il s'agit d'une comparaison de différentes formes imaginaires issues sur la base de la recherche théorique effectuée au sein des trois premiers chapitres.

Dans un essai de répondre toujours à la question d'amélioration du rendement de potentiel solaire, notre hypothèse nous propose de chercher les meilleures configurations urbaines. Nous avons ressorti de la recherche théorique deux paramètres clés supposant avoir impact remarquable sur la quantité d'énergie reçue par l'enveloppe de la forme urbaine : le premier est géométrique, qui s'envisage dans la configuration formelle des constructions et le deuxième est morphologique, en relation avec le site lui-même, on parle d'orientation, d'implantation et de situation vis-à-vis l'espace immédiat que se soit naturel ou construit. Le schéma 4.4 illustre les caractéristiques géométriques de la forme urbaine concernées par l'optimisation.

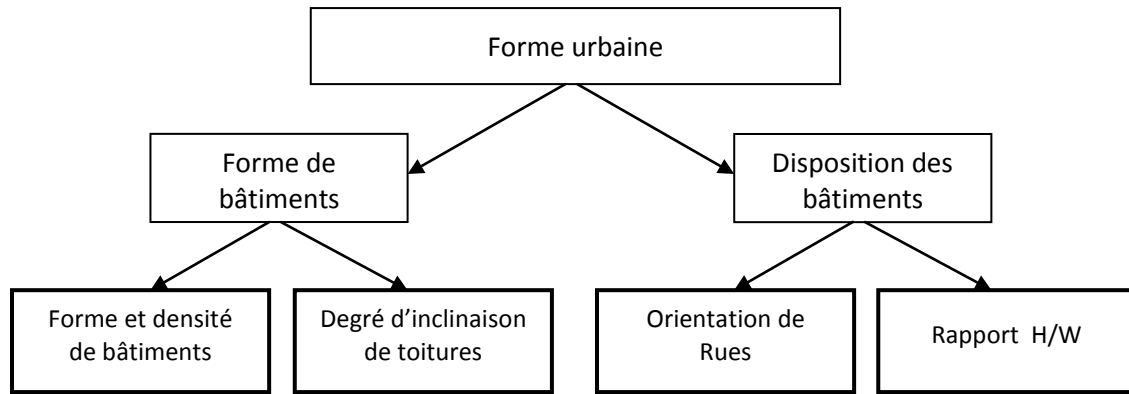


Schéma.4.4. Schéma illustratif des caractères de la forme urbaine, à optimiser.

Source : *Auteur*.

Nous essayerons de comparer le rendement énergétique durant les mois d'hiver des différentes formes urbaines issues en variant les propriétés de la forme initiale du cas d'étude. L'optimisation peut alors être traitée, d'une manière générale parce qu'un processus de conception urbain obéit toujours aux nombreux et différents critères tels que l'économie d'énergie, le confort, le fonctionnement, l'esthétique etc.

On s'attend à ce que l'évaluation soit aussi simple que possible. On a décidé de prendre un seul critère d'évaluation, celui du potentiel pour les techniques solaires passives. La raison pour laquelle cette décision a été prise, c'est bien le nombre énorme de simulations produites si l'évaluation s'étale vers les trois autres potentiels. Dans le cas, le travail va demander plus de moyens humains, et un temps supplémentaire en raison de la durée plutôt longue que demande chaque simulation. Aussi, l'importance que représente l'utilisation de la technique solaire passive en Algérie par rapport aux autres techniques.

Bien que l'évaluation dans ces conditions soit moins précise, nous comptons avoir des résultats fidèles. La capacité d'égaliser le bilan thermique (les gains par rapport aux pertes de chaleur) durant la saison froide est une qualité importante de la forme urbaine qui traduit, dans la plupart des cas, son susceptibilité de recueillir la quantité nécessaire pour l'intégration des autres techniques solaires.

IV.4.2.1. Effet de la forme et de la densité de bâtiments :

Cette section présente brièvement chaque forme sur laquelle les simulations ont été effectuées. Tous les cas ont été modélisés en utilisant le logiciel de CAO *AutoCad*, transférés vers *SketchUp* pour changer leur extension, et enfin exportés vers le logiciel de simulation *Solene*. Les plans, vues, et images de ces modèles sont également présentés avec les résultats des simulations.

IV.4.2.1.1. Procédure d'optimisation:

Afin de déterminer le rôle que peut jouer la géométrie des bâtiments dans l'ensoleillement des espaces construits et espaces libres, et dans le but de trouver la géométrie qui peut profiter le mieux possible de l'irradiation solaire, on a effectué une étude par simulation pour comparer la viabilité des techniques solaires passive de quatre formes de bâtiments, à savoir:

- la forme initiale du cas d'étude (état des lieux);
- la forme en pavillons ;
- la forme en cour ;
- et enfin, la forme en quatre tours séparées.

Les trois différentes formes urbaines génériques ont été conçues en gardant une même surface habitable. Cette condition va garantir une surface similaire de l'espace intérieur disponible pour les usagers dans les différentes formes, sans affecter les spécificités géométriques (densité, coefficient de forme, et surface de l'enveloppe) que représente chacune de ces formes. Elles ont été intégrées dans un site existant sur une surface totale de 2450 m², situé à la limite sud-est du nouveau quartier administratif de la ville de Batna. Les bâtiments ont été conçus d'une manière à permettre leur intégration avec des dimensions tout à fait réalistes. Les quatre formes urbaines sont présentées dans le tableau 4.3.

Dans le but de minimiser la consommation d'énergie dans les bâtiments, le procédé d'évaluation retenue pour la comparaison entre les formes s'articule sur l'idée de maximiser le solde net entre leurs gains et leurs pertes solaires thermiques. Autrement dit, on va choisir parmi le corpus étudié, la bonne configuration qui maximise les gains solaire durant une saison de chauffage. Cette démarche a été réalisée à l'EPFL dans le cadre des thèses de doctorat du Dr Jérôme Kaempf, et Dr Marylène Montavon.

IV.4.2.2. Effet de l'orientation et de l'inclinaison de toitures :

L'énergie solaire reçue par un capteur solaire varie considérablement en fonction de son emplacement, son orientation, son inclinaison et la présence ou l'absence des obstructions. Dans cette section, on va essayer d'optimiser l'orientation et le degré d'inclinaison de toitures (en tant qu'endroit idéal pour l'installation des capteurs solaires) dans le site du nouveau quartier administratif en vue de maximiser leur rendu. Dans ce qui suit, on va présenter brièvement les différents types de toitures sur lesquelles on va appliquer le processus d'optimisation.

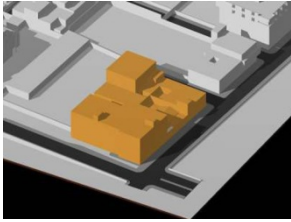
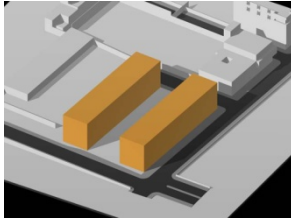
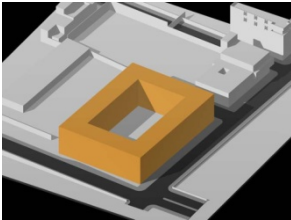
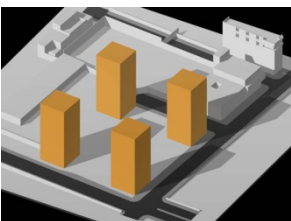
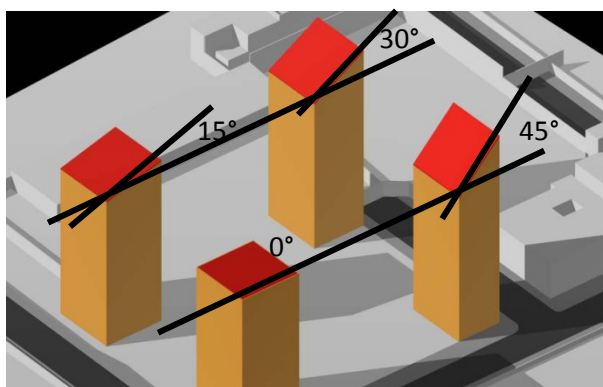
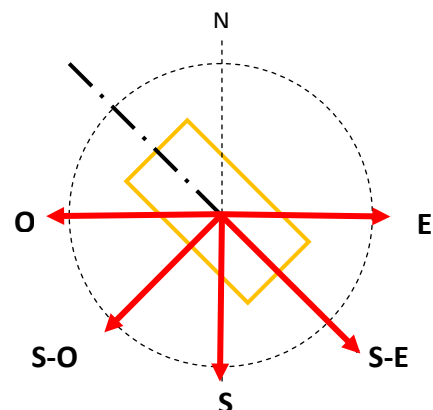
Forme étudiée	Paramètres de la forme	
	Forme urbaine : Initiale	
	Surface du site : 2450 m ² Longueur de bâtiments : 52.86m Largeur de bâtiment : 43m Hauteur moyenne de bâtiment : 8,89m Largeur de rue : 10.5 m, 12.2m, 14m.	Surface plancher : 4926,32m ² Surface de l'enveloppe : 5420,20m ² Emprise au sol : 1682,34m ² Cf : Surface / volume : 0,362 Orientation : - 46° Densité des bâtiments : 0,686
	Forme urbaine : Pavillons	
	Surface du site : 2450 m ² Longueur de bâtiment : 52.86m Largeur de bâtiment : 11.64m Hauteur de bâtiment : 13m Largeur de rue : 10.5 m, 12.2m, 14m.	Surface plancher : 4926,32m ² Surface de l'enveloppe : 4584.58m ² Emprise au sol : 1230.58m ² Cf : Surface / volume : 0,573 Orientation : - 46° Densité des bâtiments : 0,502
	Forme urbaine : Cour	
	Surface du site : 2450 m ² Longueur de bâtiment : 52.86m Largeur de bâtiment : 38.85m Hauteur de bâtiment : 13m Largeur de rue : 10.5 m, 12.2m, 14m.	Surface plancher : 4926,32m ² Surface de l'enveloppe : 5147.44m ² Emprise au sol : 1230.58m ² Cf : Surface / volume : 0,320 Orientation : - 46° Densité des bâtiments : 0,502
	Forme urbaine : Tour	
	Surface du site : 2450 m ² Longueur de bâtiment : 11.7m Largeur de bâtiment : 11.7m Hauteur de bâtiment : 28m Largeur de rue : 10.5 m, 12.2m, 14m.	Surface plancher : 4926,32m ² Surface de l'enveloppe : 5789.16m ² Emprise au sol : 547.56m ² Cf : Surface / volume : 0,377 Orientation : - 46° Densité des bâtiments : 0,223

Tableau 4.3. Effet de la forme et de la densité bâtie : les paramètres principaux des formes urbaines étudiées. Source: Auteur.



(A)



(B)

Figure 4.10. Les paramètres principaux des toitures étudiées. (A) : degrés d'inclinaison. (B) : orientations. Source : Auteur.

IV.4.2.2.1. Procédure d'optimisation:

Dans le but de trouver l'emplacement approprié aux collecteurs solaires thermique et photovoltaïque pour profiter le mieux possible des irradiations solaires, on a effectué une étude par simulation pour comparer la viabilité des techniques solaires thermique et photovoltaïque de différents types de toitures en variant leur degré d'inclinaison par pas de 15°, de 0° à 45° (voir la figure 4.10.a). Dans le but de comparer tous les cas possible, l'évaluation des différentes inclinaisons de toitures s'exécutera pour les cinq orientations, à savoir : L'Est, le Sud-est, le sud, le sud-ouest, et l'Ouest.

Les différentes toitures étudiées ont été intégrées dans la forme urbaine en *tours* avec des dimensions constantes (11.70m x 11.70m). Ce choix a été établi en raison d'éviter tous les ombres des obstructions environnant afin de parvenir au meilleur rendement des capteurs solaires. Les paramètres principaux des toitures étudiées sont illustrés dans la figure 4.10.b.

IV.4.2.3. Effet de l'exposition de façades (orientation de rues):

L'orientation d'une zone urbaine est un concept qui est souvent discuté, mais sa définition ne semble pas être claire et unique. Par exemple, l'orientation peut être associée à l'axe des routes principales ou à l'orientation prédominante des façades des bâtiments (*Montavon, 2010*). Pour les études sur l'ensoleillement et l'éclairage naturel dont la présente recherche fait partie, l'analyse selon l'exposition des façades semble meilleure en vue de l'importance que jouent ces dernières dans la détermination de la quantité de lumière circulant dans les espaces intérieurs, ajoutant leur rôle majeur –en tant que surfaces d'échange thermique- pour un équilibre entre les gains et les pertes de chaleur. Dans la présente section, on va essayer d'optimiser l'exposition des façades de la forme initiale du cas d'étude afin de profiter au maximum des gains solaires durant toute l'année. Ceci va aider les architectes et les planificateurs urbains à adapter les orientations des bâtiments aux différentes stratégies solaires qui doivent être utilisés pour répondre à toutes les exigences. On va présenter dans ce qui suit les façades objet d'étude sur lesquelles on va appliquer le processus d'optimisation ainsi que les différentes orientations choisies pour l'analyse.

IV.4.2.3.1. Procédure d'optimisation:

Dans le but de trouver une orientation garantissant un accès au soleil de l'ensemble des façades verticales de la forme urbaine d'une manière à compenser les pertes de chaleur durant la saison d'hiver, et de garantir en même temps un éclairage naturel de 500 Lux sur

le plan de travail à l'intérieur des formes étudiées, deux paramètres d'évaluation se sont utilisés, à savoir : la viabilité solaire passive, et la viabilité de la lumière du jour. On va effectuer une étude par simulation pour comparer les résultats de ces deux paramètres d'évaluation pour les différentes expositions de façades choisies, à savoir : L'Est, le Sud-est, le sud, le sud-ouest, et l'Ouest (voir la figure 4.11). L'exposition qui va obtenir les valeurs maximales des viabilités calculées sera retenue comme « Optimale » et va être préconisé pour être l'orientation principale des façades urbaines.

La figure 4.12 montre la façade urbaine verticale qui va être utilisée dans la présente opération d'optimisation et sa situation géographique. C'est une façade d'une surface de 512m² exposé vers le sud-est qui donne sur une rue parallèle à la route de Biskra.



(A)

(B)

Figure 4.11. La façade urbaine objet d'étude. (A) : Photo de la façade. (B) : son orientation (exposition).

Source : (A). Auteur ; (B). Site internet [online] <http://wikimapia.org>, consulté le 19-05-2012

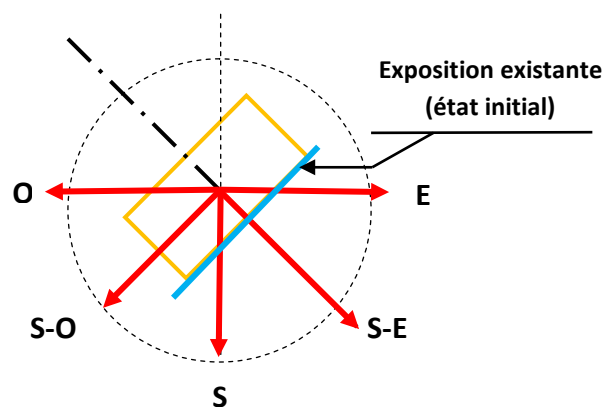


Figure 4.12. Les différentes expositions de façades choisies pour l'étude comparative.

Source : Auteur.

IV.4.2.4. Effet du rapport de la hauteur de bâtiments à la largeur de rues (H/W) :

Comme il a été démontré dans le deuxième chapitre, les considérations solaires jouent un rôle fondamental dans le dimensionnement des rues. Il était reconnu depuis longtemps que les rues étroites enroulées des anciennes villes de l'orient servent à protéger les façades du soleil d'été. Cependant, le rapport entre les rues et le soleil est complexe et doit être examiné en détail. On s'attend à travers cet essai, de définir la distance entre les bâtiments qui doit être respectée pour obtenir un rendement optimale des technologies solaires étudiées. Dans ce qui suit, on va présenter les rapports H/W sur lesquelles on va appliquer le processus d'optimisation.

IV.4.2.4.1. Procédure d'optimisation:

Il existe deux facteurs principaux qui contribuent à l'interaction entre un plan urbain de rue et le soleil : les dimensions et l'orientation des rues relativement au mouvement du soleil. Dans cet essai, on a décidé de fixer le deuxième facteur qui est l'orientation de manière que la façade objet d'étude soit exposée vers le sud. Ce choix a été établi en vu de l'excellent résultat que cette orientation a démontré lors de l'analyse comparative effectuée auparavant. Cependant, le premier facteur sera examiné en fixant la hauteur des bâtiments (H) et en variant la largeur de la rue (W) de sorte qu'on obtient trois valeurs du rapport (H/W) : 4, 1, et, 0.5 désignant respectivement les formes de rues, en canyon, dièdre, et la forme dégagée. Le but était de choisir –après l'analyse des résultats- la forme qui présente les meilleures valeurs de viabilité solaires passives et de viabilité de lumière du jour. Les paramètres des différentes classes de rues étudiées sont illustrés dans le tableau 4.4.

Durant le présent travail d'optimisation, la forme urbaine du cas d'étude sera prise comme exemple à examiner, et les caractéristiques climatiques retenues sont toujours celles du site choisi.

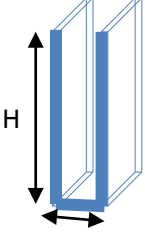
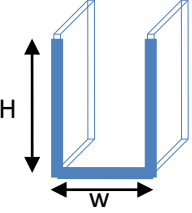
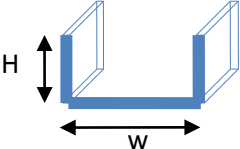
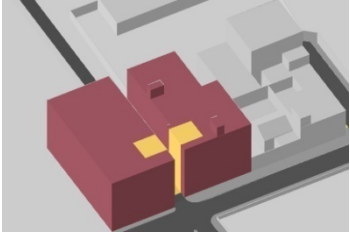
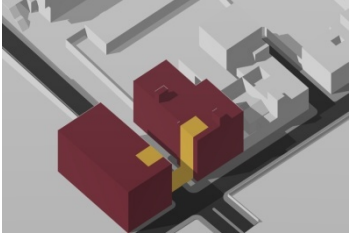

Forme canyon $h/w = 4$	Forme dièdre $h/w = 1$	Forme dégagé $h/w = 0,5$
 <p data-bbox="261 524 533 555">H=13.60m ; W= 3.40m</p>	 <p data-bbox="628 524 916 555">H=13.60m ; W= 13.60m</p>	 <p data-bbox="1011 524 1283 555">H=13.60m ; W= 3.40m</p>
		

Tableau 4.4. Les différentes classes de rues étudiées [suivant la valeur de (h/w)].

Source : *Auteur*.

IV.5. CONCLUSION :

L'adaptation d'une méthode générale de résolution d'un problème à un domaine d'application particulier n'est pas toujours facile. Dans le cas d'ensoleillement, cette question a été pleinement discutée. Plusieurs outils et méthodes ont été développées afin d'évaluer et de quantifier le potentiel solaire des façades et toitures situées dans les zones urbaines. La plupart d'entre eux viennent soit pour aider le processus de conception afin d'éviter tous les problèmes liés à l'ensoleillement que peut produire une nouvelle conception, soit pour quantifier l'énergie solaire reçue par un enveloppe de bâtiment dans le but d'intégrer une technologie solaire donnée.

Les méthodes actuellement disponibles peuvent être séparés en trois larges catégories : des méthodes basés sur les systèmes d'information géographique (SIG), des méthodes basées sur l'analyse de la géométrie solaire et finalement celles qui incorporent les méthodes de quantification énergétique et/ou lumineuse, basées parfois sur des données météorologiques. Toutes ces méthodes s'appuient sur un ensemble de calculs effectué sur un model géométrique 3D. Dans le présent chapitre, nous avons discuté quatre techniques d'évaluation exécutées dans des milieux urbains dont on a choisi et adapter une, développée par le professeur compagnon, pour l'appliquer dans le processus d'optimisation de notre recherche. Cette décision a été prise en vue de l'efficacité, de la

faisabilité, et de la possibilité d'adaptation de cette méthode car, les outils accompagnant toutes ces approches ne sont pas disponibles.

Nous avons donné dans ce chapitre une méthode d'évaluation et de détermination du potentiel solaire à l'aide d'une combinaison de quelques outils de conception, de simulation, et de calcul. Cette méthode est illustrée dans le schéma ci-dessous (schéma 4.5)

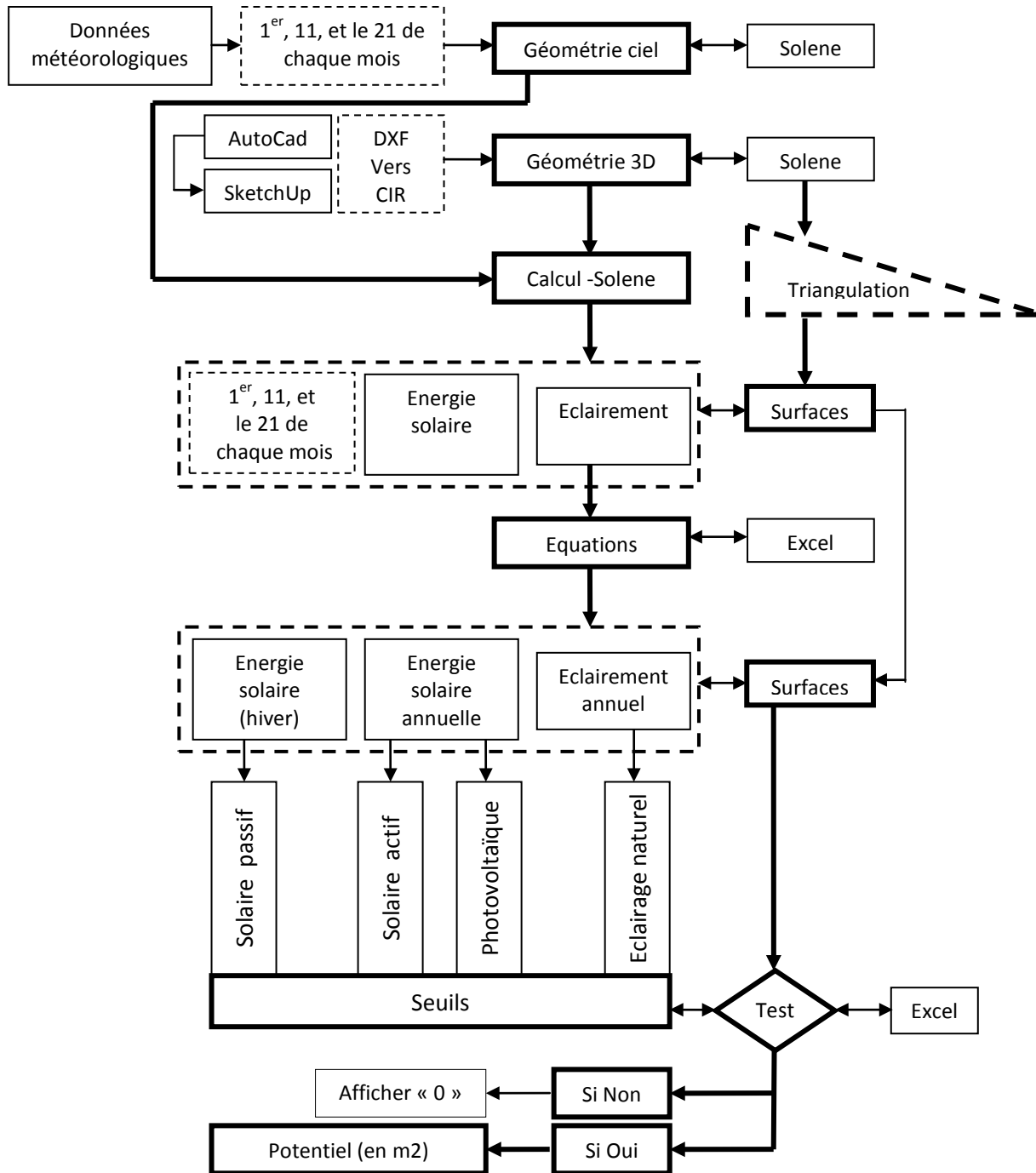


Schéma.4.5. Procédure d'évaluation retenue.
Source : Auteur.

Nous avons décrit étape par étape les opérations d'évaluation. Cependant, Il a été possible aussi de ressortir les dimensions et les indicateurs mesurables sur terrain des deux principaux concepts mis en relation dans cette recherche, à savoir : le potentiel solaire, et la forme urbaine. On s'est dirigé par la suite vers l'élaboration de la procédure qui nous permettra l'optimisation des caractéristiques de la forme urbaine. La démarche proposée est illustrée dan le schéma 4.6.

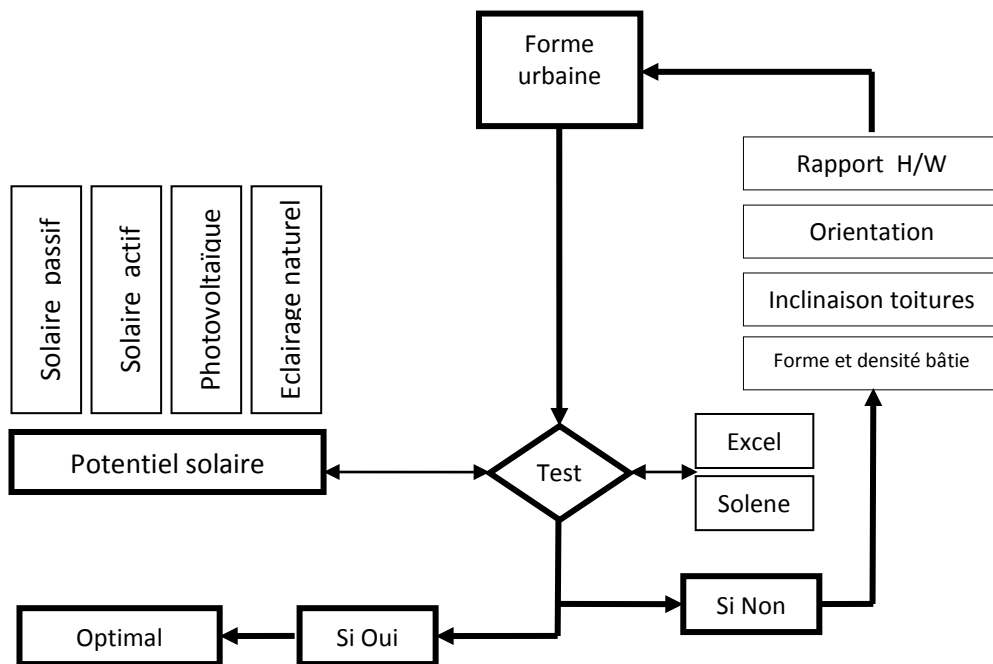


Schéma.4.6. Procédure d'optimisation retenue.
Source : *Auteur*.

Pour conclure, notons que ce modèle ne prend en compte que des aspects purement techniques. Or, dans le domaine des énergies renouvelables, et celui du solaire en particulier, les enjeux sont souvent d'ordre économique et social.

Chapitre 05,

Présentation du cas d'étude

Et choix de l'outil de simulation

V.1. INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre étant d'essayer d'établir et déterminer un cas d'étude et d'application dans la ville de Batna. L'observation et l'analyse descriptif ainsi qu'un ensemble de critères sont déterminées pour pouvoir cerner la zone la plus favorable à l'investigation. Il a été donc nécessaire d'établir la lecture formelle de la zone présélectionnée (structure viaire, rapport de la hauteur des bâtiments à la largeur des rues, la forme des toitures, orientation des bâtiments ...etc.) afin de pouvoir justifier l'effet de chaque élément de la forme urbaine qui agit sur la quantité des flux reçues par l'enveloppe. Une démarche qui peut donc approfondir la compréhension des relations entre les typologies de formes urbaines et le potentiel de l'énergie solaire.

Ce travail sera suivi par une description des techniques de modélisations 3D qui ont été choisis. Ces techniques permettent aujourd'hui de restituer visuellement, de manière très fidèle, des environnements architecturaux et urbains. Les maquettes virtuelles ainsi créées représentent les objets dans les trois dimensions de l'espace et peuvent contenir tous les attributs nécessaires à leur visualisation réaliste (les couleurs et textures notamment, mais également les éclairages ou les effets atmosphériques comme les phénomènes d'ensoleillements, écoulements aérauliques etc.). La démarche qu'on a suivie pour la création du modèle numérique de la forme urbaine objet d'étude va être présentée en détail.

On terminera ce chapitre par une présentation de l'outil de simulation utilisé dans cette recherche. On va expliquer d'abord les raisons qui nous ont conduits à choisir ce logiciel. Une description sommaire de ses principaux aspects, et notamment sa structure générale va être présentée. Il ne s'agit pas de donner tous les détails de ses diverses fonctionnalités, mais plutôt de mettre l'accent sur certains éléments fondamentaux qui vont aider à mieux comprendre son mode de fonctionnement.

V.2. PRESENTATION DU CAS D'ETUDE :

V.2.1.Situation de la ville de Batna

La ville de Batna (notre zone d'étude) est située au nord-est de l'Algérie, entre les 4° et 7° de longitude Est et 35° et 36° de latitude Nord. (Fig. 5.1). À 1 058 mètres d'altitude et 12.038,76 km² de Superficie, le territoire de la Wilaya de Batna s'inscrit presque entièrement dans l'ensemble physique constitué par la jonction de deux Atlas (Tellien et Saharien), ce qui représente la particularité physique principale de la Wilaya et détermine de ce fait les caractères du climat, et les conditions de vie humaine. (Fig. 5.2) Cette zone se trouve parmi celles qui reçoivent une grande partie des rayonnements solaires sur la terre. (Fig. 5.3) (Guerbazi, Hamraoui, 2011; Kalla, et Al, 2011; Harouadi, et Al, 2007 ; wikipédia¹, 2013)



Figure 5.1. La situation géographique de la zone d'étude
Source : (Guerbazi, Hamraoui, 2011)

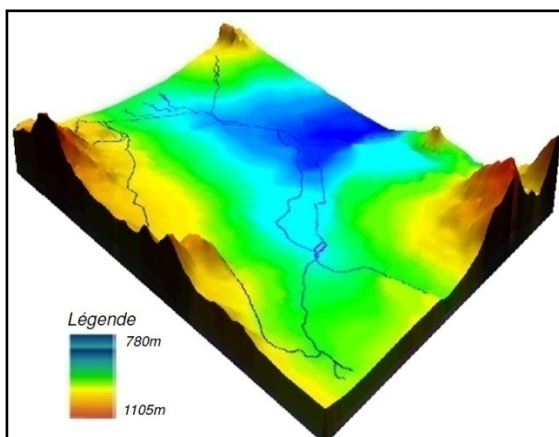


Figure 5.2. Site de la ville de Batna.
Source : Kalla, et Al, 2011

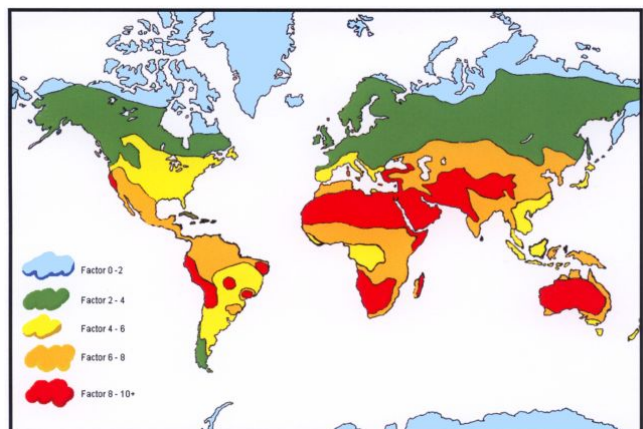


Figure 5.3. Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel
Source : [en ligne] URL : http://anjoumadagascar.free.fr/projet_solaire.ht
Consulté le 26 Mars 2013.

¹ Site internet [en ligne] URL : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Batna> consulté le 26 Mars 2013.

V.2.2. caractéristiques climatiques ²

Selon *Mecheri, et Al, 2003*, le zonage climatique établi par *Borel* définit pour l'Algérie quatre zones climatiques au Nord dont une est sous zone (A, B, B` et C), et trois zones au Sud (D₁, D₂, D₃). La wilaya de Batna se situe dans la zone C, appelée zone *Semi aride*. Les quatre saisons sont bien distinctes dans cette zone.

L'interprétation des données climatiques de la ville de Batna d'après les données des éléments du climat (voir annexe 1) montre que la température moyenne annuelle calculée à la base des températures moyennes de 22 ans (1983 - 2005) est de 17,3 °C. Les températures moyennes varient de 3 °C en janvier à 35 °C en juillet, étant le mois le plus chaud. La neige ne fait son apparition que pendant quelques jours et surtout au mois de Mars.

Le degré-jour de chauffer (en fahrenheit) basés sur les températures moyennes des 5 ans (2008 à 2012) atteint la valeur 2544 si la température de base est de 60 °f (environ 15,5 °C), cette valeur peut augmenter jusqu'à 3600 avec une température de base de 65 °f (environ 18,3 °C).

V.2.2.1. Type de ciel

Le soleil dominant a un impact majeur sur le climat surtout, avec ses aspects ; thermique, énergétique et lumineux. Selon les données enregistrées dans la figure ci-dessous (Fig. 5.4) qui démontre en pourcentage pour notre zone d'étude, les fréquences mensuelles de chaque type de ciel, le ciel clair régnant pendant presque toutes les journées d'été. En outre, durant tous les autres mois de l'année, le Ciel couvert clair apparie dominant.

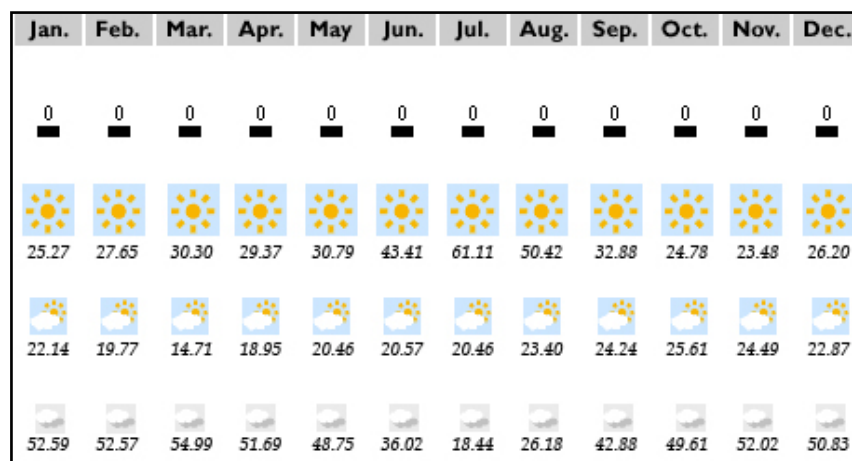


Figure 5.4. Fréquence mensuelle de chaque type de ciel pour la wilaya de Batna basé sur les pourcentages moyens des 22 ans (Juil 1983 - Juin 2005).

Source: [online] URL : <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse> (Consulter le 22 février 2013).

² Voir également l'annexe 1

V.2.2.2. Ensoleillement

L'Algérie et les pays du Maghreb ont un potentiel solaire élevé. Les taux d'irradiation solaire effectués par satellites par l'Agence Spatiale Allemande (DLR), montrent des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de $1200 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ dans le Nord du Grand Sahara. Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de $800 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ limités à la partie sud de l'Europe. (Fig. 5.3). Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit: 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, et $13,9 \text{ TWh/an}$ pour le solaire photovoltaïque. (Harouadi, et Al, 2007 ; Aprue³, 2013)

Dans la région des hauts plateaux de l'Algérie, l'ensoleillement est considérable durant la dernière décennie. Le rayonnement solaire est intense surtout dans les mois d'été, où les jours sont longs et clairs. La durée moyenne d'ensoleillement dans cette région atteint les 3000 heures par an, l'énergie moyenne reçue est de l'ordre de $1900 \text{ KWh/m}^2/\text{an}$. (Ubifrance, 2010) Batna ne fait pas exception, elle bénéficie d'un ensoleillement considérable surtout durant la dernière décennie. Selon les estimations du ministère d'énergie et des mines, l'énergie solaire journalière dans cette wilaya peut arriver jusqu'à $9 \text{ KWh/m}^2/\text{jour}$ sur un plan horizontal au mois de juillet (Fig. 5.5 et Fig. 5.6). Toutes ces valeurs fournissent un aperçu clair sur les effets de l'ensoleillement, surtout pendant les périodes chaudes.

Concernant l'aspect lumineux, le diagramme illustré dans la figure 5.7 démontre que les niveaux d'éclairement sont très élevés. Dans l'intervalle journalier des heures de travail (de 8 :00h à 17 :00h), l'éclairement global ne descend pas en dessous de la valeur de 7600 lux. (Pour plus de détails, consultez les tableaux de l'éclairement direct, diffus, et global présentés dans l'annexe 1).

Du point de vue quantitatif, ces valeurs sont suffisantes, si on les compare avec les niveaux d'irradiation et d'éclairement que représentent la plupart des cas étudiés en Europe et en Amérique du nord. Cependant, elles peuvent causer plusieurs gênes tel que l'éblouissement et le surchauffe, si on n'a pas pris en mesure quelques dispositifs sélectif d'éclairage et techniques de rafraichissement, en particulier, durant les mois d'été.

³ L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie, site internet [en ligne] URL : <http://www.aprue.org.dz/>

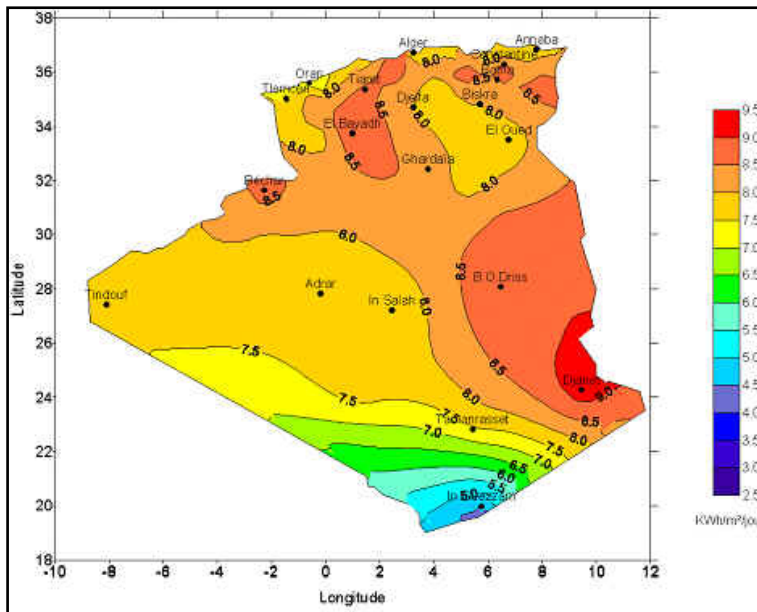


Figure 5.5. Algérie : irradiation directe journalière reçue sur un plan horizontal en mois de Juillet.

Source : Ubifrance, 2010, p1.

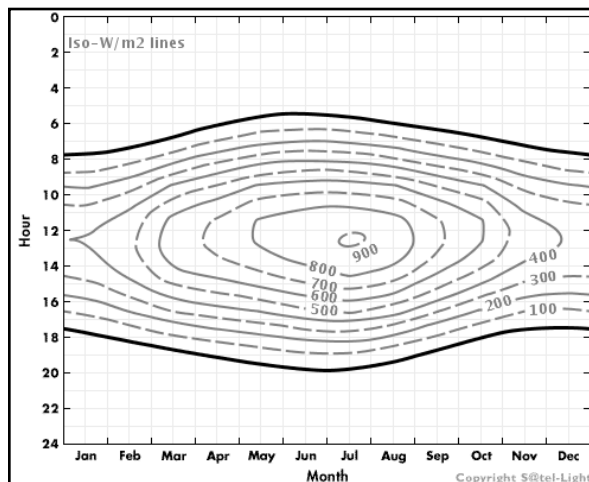


Figure 5.6. L'irradiation globale en (w/m2) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000.

Source: [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)

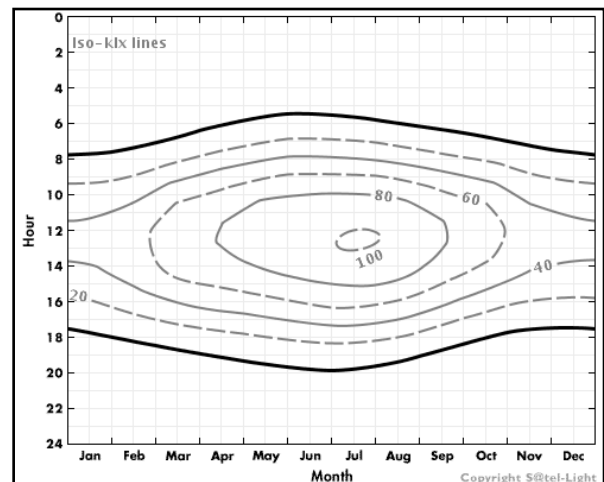


Figure 5.7. L'illumination globale en (Klux) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000.

Source: [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)

V.2.3. Quartiers et secteurs urbains de la ville

Dès sa création, Batna se composait de la ville coloniale et de la ville arabe. Les deux villes étaient séparées par l'oued et évoluaient chacune selon son propre dynamisme de croissance. Ce sont deux types d'urbanisation différents, et jusqu'à nos jours, malgré les transformations marquées sur les deux types, ces derniers sont bien repérés du fait de la différence des formes urbaines qui forment leurs quartiers. (Dib, et al, 2006 ; wikipedia⁴, 2013)

⁴ Site internet, [en ligne] URL http://fr.wikipedia.org/wiki/Quartiers_de_Batna consulté le 28 Mars 2013.

Comme le démontre le graphe 5.1 et la figure 5.8, la superficie de la ville de Batna est de 3370.9 ha⁵, se divise en 12 secteurs urbains. Le noyau central est le quartier historique de la ville qui se trouve dans le centre ville, composé principalement de l'ex quartier colonial (français), et l'ex village nègre qui porte le nom de Z'mala. La partie coloniale a été construite suivant une trame en damier d'une rotation de 45° du Nord géographique. Les bâtiments en pierres prennent en général les formes blocs et pavillons avec des toitures inclinées en tuile. Le centre ville partage ces caractéristiques avec deux autres secteurs : Bouzourane et les quartiers anciens situés respectivement au nord-est et au sud-ouest du secteur en question. L'ensoleillement dans ces secteurs semble être considérable en raison de la densité moyenne des bâtiments et la largeur importante des rues comparées à celle des autres secteurs.

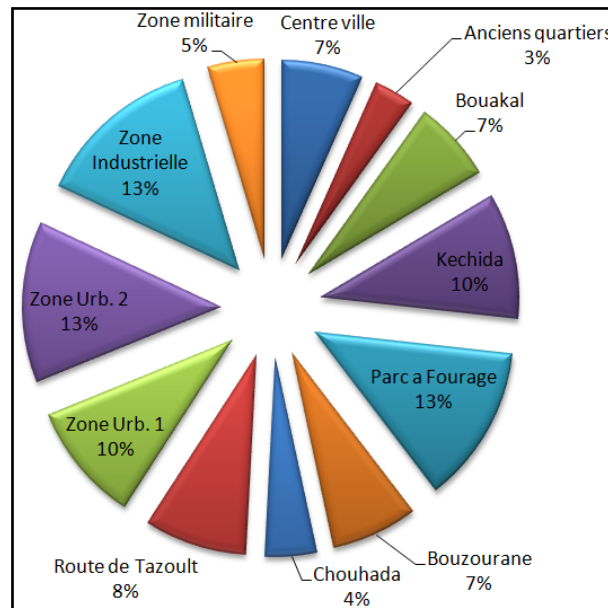
En 1968, le programme spécial des Aurès allait impulser une dynamique nouvelle qui s'est traduite par l'injection d'équipements du tertiaire, d'infrastructures et d'habitat surtout la zone industrielle à l'ouest et la zone militaire dans la partie est de la ville.

La zone industrielle est constituée de deux parties ZI1 et la ZI2. ZI1 est créé en 1972 et comporté une usine de textile, une briqueterie et une tannerie. ZI2 a été construite sur 147 ha en 1976, elle comporte plusieurs unités de fabrications et de services. Quant à la zone militaire ne sert que pour son activité *militaire*. Ce sont deux secteurs présentant une faible densité avec des grands bâtiments en pavillons séparés et des toitures horizontales. Le rapport de la hauteur des bâtiments à la largeur des rues dans ces deux secteurs est très faible, il atteint rarement la valeur 1.

L'autre type d'urbanisation, c'est celui de l'informelle qui occupe de très grandes zones dans le tissu urbain de la ville. Son apparition vient par intégration de petites localités et mitage des espaces agricoles, autant que l'occupation des poches internes (espaces non bâtis à l'intérieur des tissus existants), ajoutant l'extension qui s'est frayée les quatre accès vers Lambèse, Biskra, Constantine et enfin vers Mérouana. Le résultat est les secteurs de Kechida, Chohada, Bouakel, Parc à fourrage et la route de tazoult. Ces cinq secteurs montrent une densité bâtie très élevée où la largeur des rues ne représente qu'un quart (1/4) de la hauteur des bâtiments dans certains quartiers. Un cas qui peut, théoriquement, empêcher le bon profit des gains solaires disponibles.

⁵ Voir également l'annexe 2.

Au sud ouest et à l'ouest de la ville se situe les deux zones urbaines (Zhun). Créées en suivant les orientations du PUD 78, elles se sont concrétisées par le lancement d'un large programme d'habitat collectif et individuel, coopératives et lotissements.



Graphe. 5.1. Sectorisation de la ville de Batna.

Source : site internet [en ligne] URL http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ographie_de_Batna. Consulté le 28 Mars 2013.

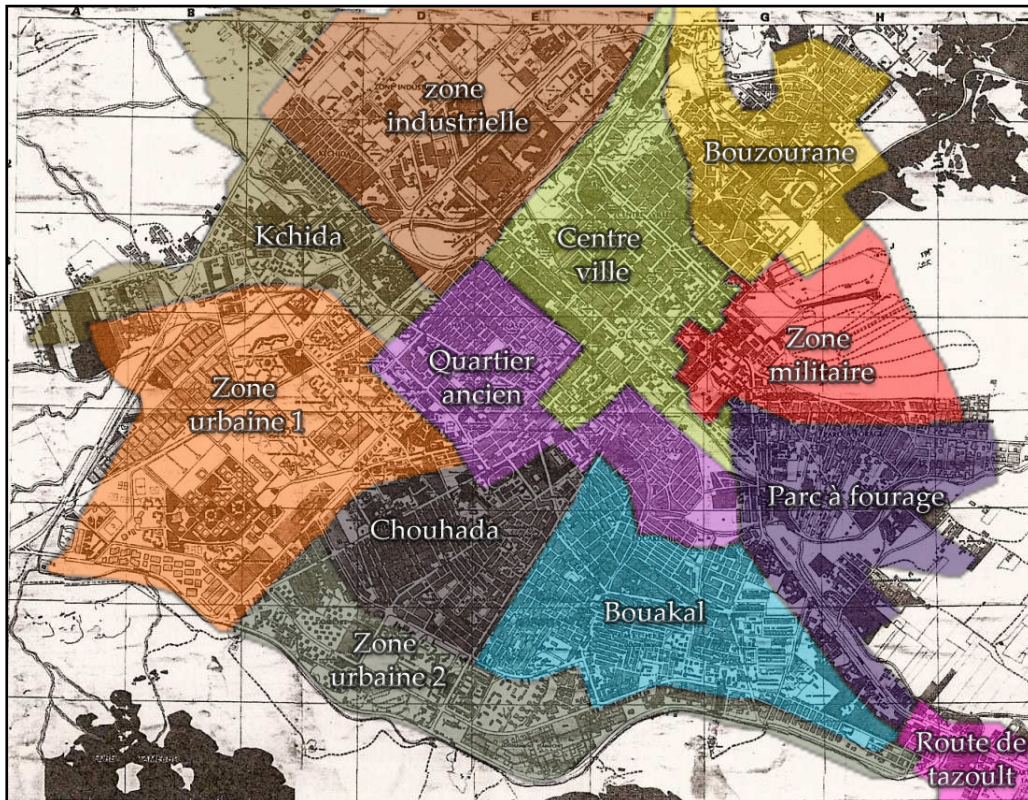


Figure. 5.8. Quartiers et secteurs urbains de la ville de Batna.

Source : site internet [en ligne] URL <http://fr.wikipedia.org/wiki/Batna> consulté le 28 Mars 2013(modifié par l'auteur)

V.2.3.1. Critères de choix

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (EnR) et d'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. (*Ubifrance, 2010*). Le présent travail s'inscrit dans cette politique et vise à s'engager dans une nouvelle ère énergétique et lumineuse durable. L'idée est de sélectionner une forme urbaine qui -après notre intervention- va adhérer aux principes du développement durable, en évaluant le potentiel d'utilisation de l'énergie solaire (systèmes solaires passifs et actifs, l'éclairage naturel et l'intégration du photovoltaïque).

La forme choisie devra d'ailleurs se situer dans un site bénéficiant d'un ensoleillement important qui peut couvrir les demandes énergétiques et lumineuses nécessaires pour un rendement acceptable des systèmes solaires précédemment cités. Cela exclut tous les sites enveloppant des obstacles physiques ou naturels qui peuvent être un masque solaire permanent partiel ou global.

L'envie d'examiner les effets des propriétés de la forme urbaine sur les gains solaires globales et de clarifier la notion de la densité qualitative justifie la sélection d'une forme qui contient une variété géométrique. On parle de la variété de la forme et de la hauteur des bâtiments, d'inclinaison et d'orientations des toitures, de largeur et d'orientation des rues, présence et absence des cours et surtout une variété de densité bâtie.

Il est préférable de choisir une forme urbaine dont la fonction principale exercée dans ses bâtiments est celle de l'administration ou de l'éducation. La raison pour laquelle ces deux fonctions sont choisies c'est en premier lieu que l'occupation de ces lieux ne s'étale pas aux périodes de nuit. L'exploitation du potentiel solaire sera donc dans les périodes où le soleil est présent. Cela va rendre plus efficace les systèmes solaires installés et réduit les périodes de l'utilisation de l'énergie payante (non solaire). Une autre raison, c'est la facilité d'utilisation de ces systèmes dans des bâtiments pareille où le décideur est un établissement d'état, à l'opposition des fonctions d'hébergement et de commerce qui nécessitent –pour l'intégration de ces systèmes solaires- plus de travail de sensibilisation et de prise de conscience.

La disponibilité des informations nécessaires pour la modélisation est un critère important de choix. En effet, la présence des documents graphiques et numériques qui font la description plane des éléments de la forme urbaine (plans de masse, plans de situation, photos aériennes, plans d'aménagement...etc.) et ceux qui traduisent la troisième dimension tels que les élévations, les perspectives, les axonométries ou encore la possibilité de prise de photos est utile pour la création du modèle 3D à simuler.

En fonction de ces critères, Et après l'analyse de la ville de Batna qui constitue le contexte dans lequel s'inscrit cette recherche, la forme qui représente le nouveau quartier administratif a été retenue comme cas d'étude.

V.2.4. Le nouveau quartier administratif

Le nouveau quartier administratif est notre objet de recherche. Il se situe dans le secteur des *quartiers anciens* précédemment désigné (cf. § II.3), au sud-ouest du centre ville. Le quartier est accessible du sud-est à partir de l'avenue de l'indépendance, du nord-est à partir de centre ville, du nord-ouest depuis le quartier Bourj elghoula, et enfin du sud-ouest en venant de la cité Chikhi. Il est délimité au nord-est par un jardin public; au sud-est par les allées Menasria ; au nord-ouest par un Oued et au nord-est par la cité de la gare. (Fig. 5.9) comme le désigne son nom, le caractère administratif est dominant dans la forme choisie sans oublier la fonction résidentielle qui occupent quelques locaux en rez de chaussée dans la cité.

De par cette situation centrale très proche du centre ville, le quartier vient de confirmer une caractéristique spécifique des villes algériennes, celle de la centralisation des équipements. En effet, le nouveau quartier administratif est le plus récent quartier de tous les secteurs centraux de la ville de Batna. Il a été créé dans les quinze dernières années dans le but de relâcher la pression sur l'ancienne cité administrative d'une part, et de réunir les équipements administratifs dans un seul espace facilement accessible et à proximité du centre ville d'autre part. Vers 1990, il n'y avait dans le quartier que quelques anciennes maisons construites à l'époque coloniale. Ces dernières ont survécu à la campagne de démolition et restent jusqu'à présent comme témoins du style colonial complètement différent de son environnement immédiat, en termes de formes, de dimensions, de matériaux, et de techniques de construction utilisées.

D'une surface totale de 5,6 ha, le nouveau quartier administratif peut être considéré comme une vitrine de bâtiments administratifs. Un total de 22 équipements couvrent une superficie bâtie de 16000m², ce qui correspond à un ratio d'occupation de 0,285. (Voir

l'annexe 2). Cette valeur relativement faible n'a pas conduit à penser à l'intégration des espaces verts et systèmes solaires, des actions qui pourraient exploiter les terrains vides dans la réduction des impacts négatifs sur l'environnement.

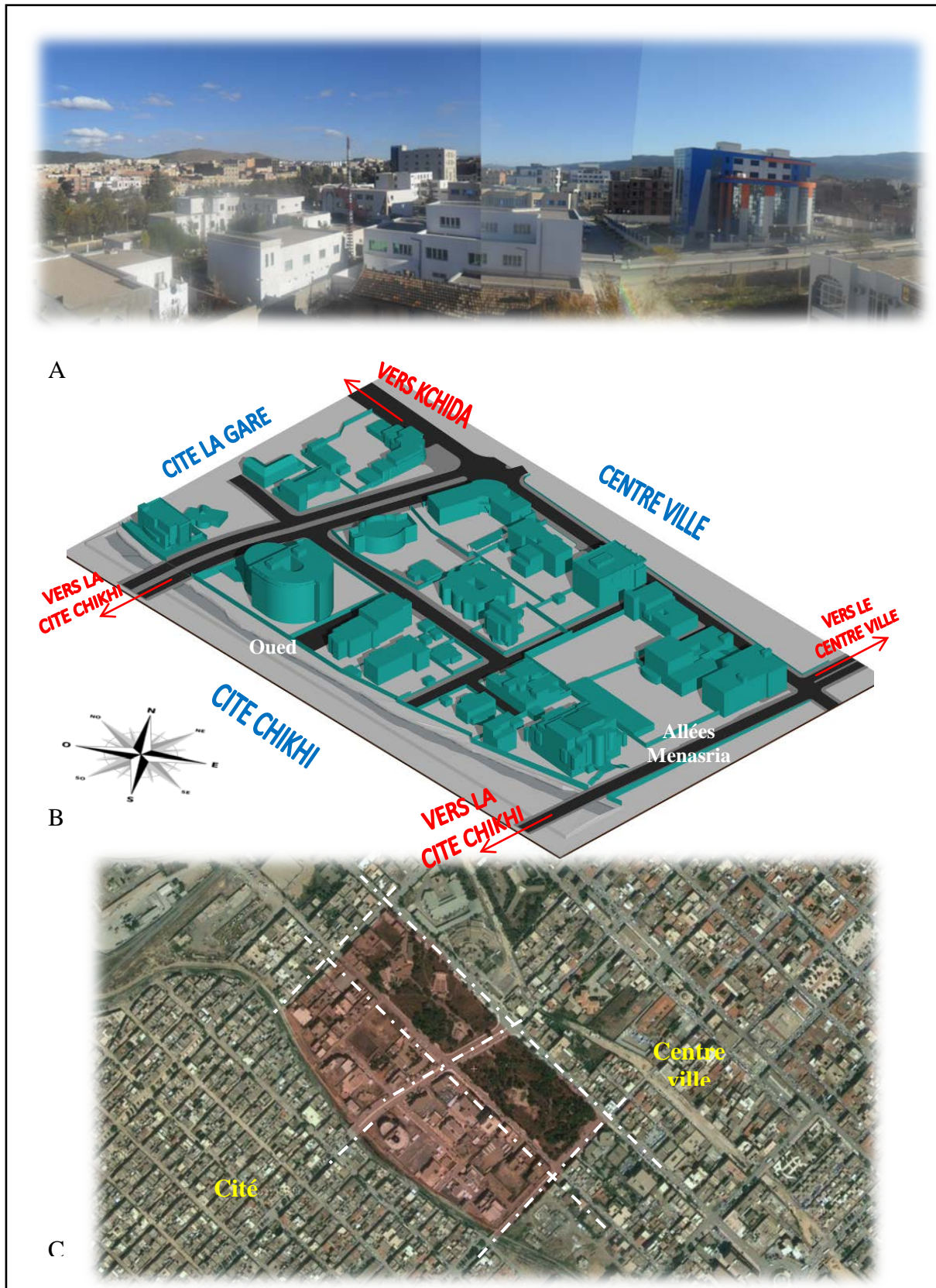


Figure. 5.9. Délimitation de la zone d'étude. Source : auteur.

V.2.4.1. Lecture de la forme du quartier :

V.2.4.1.1. Aspect général :

La nouvelle cité administrative est sise sur une parcelle de terrain de forme près du rectangle. Il apparaît que le principe de l'aménagement en étude est imposé par des logiques externes au site d'implantation. L'organisation parcellaire est dominée par la trame viaire existante : une organisation en damier qui fait une rotation de 45° du nord géographique. (Fig. 5.9.c). L'organisation de la cité est faite suivant cette structure routière, où les grands blocs en nombre de 22, longent les voies mais prennent des formes très diversifiées au point où on ne peut jamais les classer en un style d'architecture bien déterminé. (Fig. 5.9.a et b).

La forme, les matériaux, les couleurs et traitement de façades des bâtiments reflètent bien le fait de la pluralité des acteurs intervenant dans leur réalisation. La forme urbaine qui en résulte, donne l'impression de l'existence d'une agrégation de plusieurs logiques de structuration et d'organisation de l'espace du quartier déconnectées les unes des autres. En revanche, on peut fournir une lecture identique concernant l'aspect structural général de chaque équipement : une mauvaise occupation du terrain traduit par l'implantation anarchique des blocs qui conduit à l'apparition d'espace vide non utilisé. Le tout est clôturé en utilisant des murs semi-transparents dans les façades principales et des murs clos dans les autres faces.

A l'opposition, ces espaces vides non utilisés rendent la forme urbaine moins dense, une condition qui va agrandir les surfaces de l'enveloppe exposées au soleil. D'une part, cette situation maximise les apports et les gains lumineux et énergétiques du soleil reçu sur les faces. D'autre part, cela signifie aussi une surface d'échange plus grande avec l'extérieur (transfert par conduction de la chaleur). Autrement dit, les pertes de chaleur deviendront plus importantes.

La recherche discute dans ce qui suit la structure viaire, le rapport de la hauteur des bâtiments à la largeur des rues, la forme des toitures et leur rôle dans le contrôle de l'ensoleillement.

V.2.4.1.2. Structuration de la voirie et profils H/W:

En ce qui concerne le réseau viaire, la forme présente des voies droites de différentes dimensions, elles suivent la disposition de la trame coloniale qui caractérise les deux secteurs : le centre ville et les quartiers anciens. On peut diviser les rues de notre géométrie urbaine suivant leurs dimensions en trois catégories : (voir l'annexe 2)

1. Rue en double voie qui traverse la forme urbaine et relie les deux secteurs précédemment cités. Elle fait 22m de largeur y compris les trottoirs pour piétons et la bande de séparation centrale.
2. Rue de 14m de largeur, traverse en longueur la partie sud-est de la forme urbaine.
3. Enfin, des rues de 10m de largeur, parfois un peut plus, présentent le reste de la trame viaire. Certains comme les Allées Menasria, limitent la forme en trois cotés. D'autres, ne sont que des passages pour relier les équipements aux grands accès.

La lecture de la voirie et les bâtiments qui la bordent nous permet de déterminer différents valeurs du rapport de la largeur des rues à la hauteur des bâtiments. Ces valeurs peuvent jouer un rôle crucial dans l'exposition au soleil, spécialement pour les façades.

Comme le montre la figure 5.10, ces valeurs varient de 0.5 à plus de 3. A l'exception des deux valeurs minimales de (0.5 et 0.8), toutes les autres valeurs autorisent les rayons solaires a frappé toute la surface des façades à condition que la hauteur du soleil soit supérieure à 35°. Elles sont incluses dans l'étendue acceptable et/ou recommandé par les théoriciens (cf. Tableau 3.5) et garantissent les conditions qui permettent l'irradiation solaire d'atteindre les façades surtout en hiver.

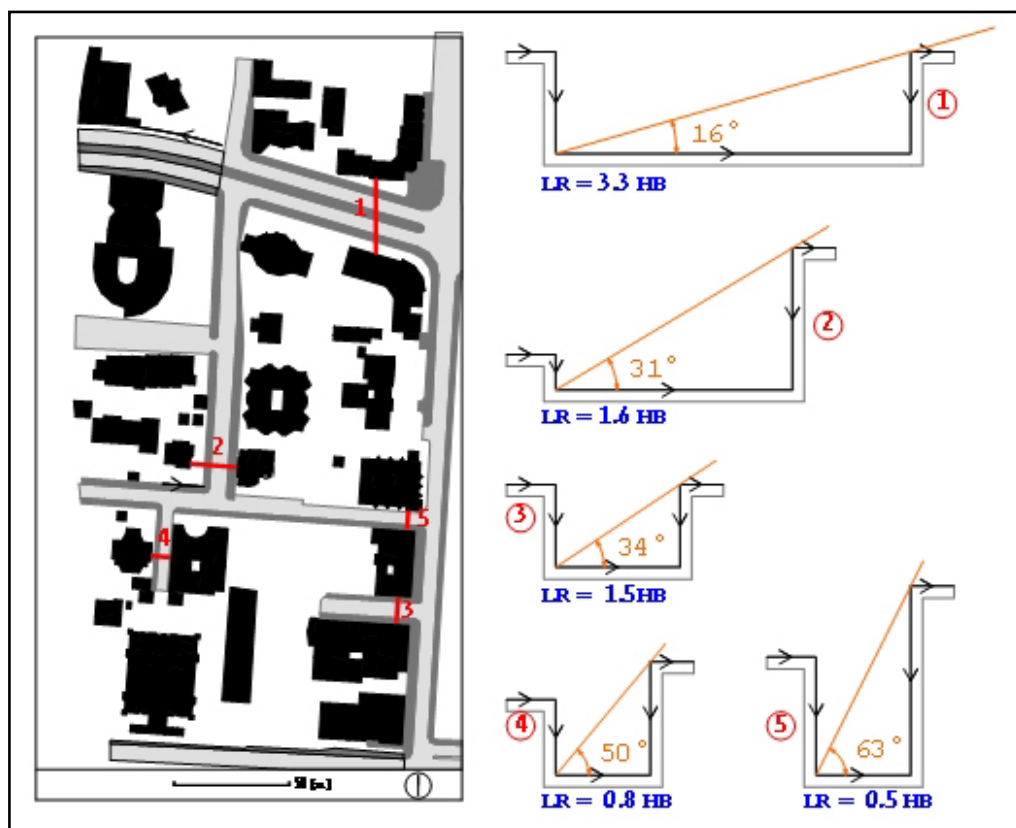


Figure. 5.10. Contours de construction que présente la forme urbaine du quartier administratif.
Source : Auteur.

V.2.4.1.3. Forme de bâtiments et toitures :

Notre forme urbaine est constituée d'un ensemble de bâtiments de différentes formes, tailles et gabarits. On peut cependant les classer en deux familles. Les formes de toitures, eux, sont aussi réparties en deux types : plates et inclinées. Notons également l'absence de toute installation solaire thermique ou photovoltaïque. Les biens du soleil sont utilisés juste pour l'éclairage et le chauffage passif.

On peut dégager, en lisant le mode de composition des géométries urbaines, deux formes principales de bâtiments: La forme en pavillons (unités isolés) et la forme en bloc de bâtiments.

La forme en pavillon est la plus fréquente (voir la figure 5.11), elle correspond aux équipements administratifs implantés séparément les uns aux autres et forment ensemble un groupe d'unité de bâtiments. Il est toujours difficile de déduire un certain ordre formel dans l'arrangement des bâtiments : l'espace n'est pas aménagé comme une totalité et les bâtiments ont des formes indépendantes, orientées dans plusieurs directions. La hauteur, elle aussi, diffère d'un bâtiment à un autre. Elle obéit à une logique fonctionnelle, et suit les besoins superficiels de chaque administration.

La deuxième forme que représentent un ensemble de bâtiments au sud-est du quartier est la forme en blocs (Fig. 5.12). Cet ensemble est organisé autour de la route qui sépare notre cas d'étude du jardin public voisin, il est différent de l'autre configuration précédemment citée sur plusieurs niveaux : Ce sont des bâtiments qu'exercent les deux fonctions : résidentielle et administrative, et forment ensemble des blocs de petite taille. Leur hauteur moyenne ne dépasse pas trois niveaux, et la densité dans cette zone prend des valeurs hautes. Autrement dit, les formes sont plutôt compactes, une condition qui va – théoriquement- réduire la quantité d'irradiations solaires qui atteint les façades.

La lecture de la forme du quartier permet de distinguer deux types de toiture, un type courant est le toit plat (horizontal) et le deuxième c'est la toiture inclinée, existant dans seulement trois constructions : deux entre elles sont des maisons d'habitation de l'époque coloniale, et la troisième est l'immeuble du centre des impôts. (Fig. 5.13)

Les toitures en pente existantes sont orientées vers le sud-est et le nord-ouest avec un degré d'inclinaison de 20° dans les maisons d'habitations et de 10° dans l'immeuble du centre des impôts. Reste à noter que l'ensoleillement n'est pas pris en mesure lors de la conception de ces toitures. Elles ne sont pas exploitées pour l'intégration de n'importe quel système solaire.



Figure. 5.11. Le nouveau quartier administratif : bâtiments en forme de pavillons (unités séparés)
Source : Auteur.



Figure. 5.12. Le nouveau quartier administratif : bâtiments en forme de bloc.
Source : Auteur.

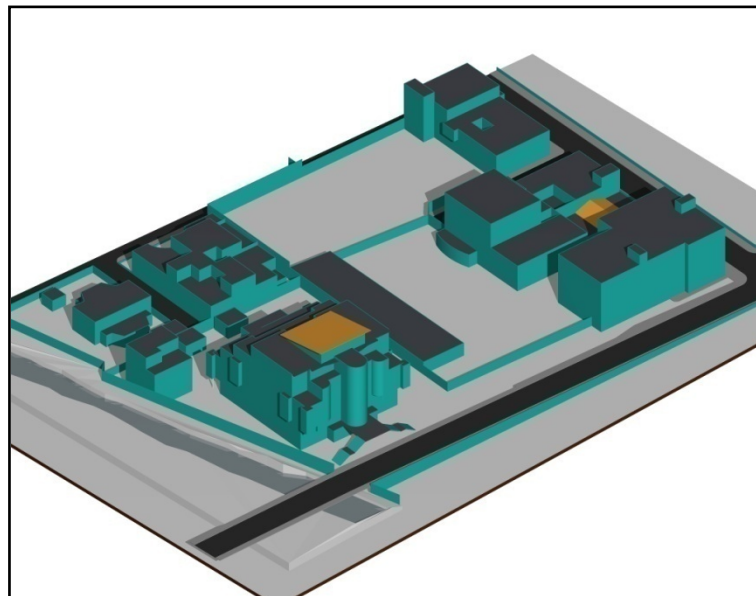


Figure. 5.13. Une partie du nouveau quartier administratif : forme de toitures.
Source : Auteur

V.3. LA CONSTRUCTION DU MODEL 3D

V.3.1. La 3D comme outil de simulation

Les cinquante dernières années ont vu l'apparition de nouvelles technologies liées à l'espace, dont le développement s'est effectué en parallèle de celui connu dans le domaine de l'informatique. Les nouvelles technologies de l'information ne sont plus soumises à la limitation de fournir des données géométriques en deux dimensions. Le désir d'obtenir des données spatiales complètes dans les trois dimensions peut finalement être satisfait. C'est grâce aux moyens informatiques actuels que la modélisation de la forme urbaine s'est

libérée des supports matériels. L'information est gérée sous forme totalement numérique, ce qui permet de générer des perspectives ou d'autres visions virtuelles avec des applications appropriées. (*Carosio, 1999*)

De nombreux domaines font appel à l'utilisation et à l'application des modèles multidimensionnels à part l'architecture et le génie civil, certaines ont une forte demande. On peut citer comme exemple la planification urbaine, la géologie et pédologie, l'archéologie, le domaine militaire et la téléphonie mobile. Toutes ces disciplines ont trouvé que le traitement et la représentation de la troisième dimension est une solution, permettant d'analyser et d'administrer des données aussi proches que possible de la réalité. Ainsi, elle offre de nouvelles perspectives pour l'exploitation numérique et pour l'analyse de données spatiales. (*Riedo, 1999*). Dans le secteur de l'architecture et de l'environnement, l'usage de données 3D peut être mentionné dans les domaines suivants : (*Meier, et Al, 2005*)

- Protection des biens culturels et des monuments
- Planification et projets
- Visualisation en vue d'une meilleure participation des citoyens
- Preuve d'ensevelissement pour un bâtiment
- Gestion des infrastructures et des raccordements
- Méthodes d'analyse pour l'établissement des cartes de dangers (avalanches, chutes de pierres, inondations, zones de glissement, etc) ou encore paiement de contributions à l'agriculture.

Dans tout système d'information, l'investissement pour l'obtention des données est la partie la plus importante. L'intervention fréquente des utilisateurs et la consommation des ressources tempo-financière sont nécessaires. Le passage d'un système habituel à deux dimensions à un nouveau tridimensionnel ou partiellement tridimensionnel peut engendrer des coûts supplémentaires considérables. Il est donc avantageux de reprendre une bonne partie des informations des systèmes existants (*Carosio, 1999*). Selon la flexibilité offerte par les systèmes de dessin assisté par ordinateurs (CAO), il est possible d'utiliser les différents types de lignes, polygones, courbes de niveau et surfaces planes des cartes cadastrales, plans d'architecture ou n'importe autre document contenant des informations bidimensionnelles. Les photos prises de différentes hauteurs superposées au modèle numérique 3D peuvent également aider l'utilisateur à définir les hauteurs des bâtiments.

La représentation interne des géométries créées dans les ordinateurs se fait sous la forme d'une structure de sauvegarde adaptée et d'algorithmes permettant d'utiliser les bases de données par les logiciels. En raison des différentes représentations internes dans les ordinateurs et aussi en fonction des types d'application, les modèles 3D peuvent être séparés en plusieurs rangs. Pfund, (1999) les a classifiés en trois principaux modèles:

- *Modèle fil de fer*, Le modèle 3D le plus simple dont La représentation interne se résume essentiellement aux éléments géométriques points et arrêtes (ligne, arc, cercle, polygones), il est facile à mettre en œuvre et que différentes vues peuvent aisément être réalisées grâce à l'utilisation de transformations géométriques des primitives graphiques. Mais, Comme aucune information sur les surfaces n'est disponible dans ces modèles, l'interprétation des lignes représentées est faite par l'utilisateur, ce qui présuppose des capacités à voir en trois dimensions.
- Les modèles de *surfaces* qui permettent de s'affranchir des contraintes du premier modèle. ils représentent des corps solides à l'aide de la surface extérieure. Il ne s'agit généralement pas de fonctions analytiques exactes de surfaces, mais plutôt de surfaces construites à l'aide de fonctions approximatives. ces modèles sont utilisés dans les cas où l'on est en présence de surfaces complexes, comme dans l'industrie aéronautique ou automobile. Leur inconvénient est qu'ils ne présentent aucune relation entre les surfaces. Les arrêtes ne sont pas des objets distincts, mais font partie de la description de la surface.
- *Modèle de volumes* : L'objectif de la modélisation des volumes est de mettre à disposition un modèle général. Les systèmes ne doivent accepter qu'une représentation « complète » des corps solides physiques. Ainsi ces systèmes sont en mesure de répondre de façon algorithmique (sans interaction avec l'utilisateur) à des questions concernant le modèle de volume. Différents types de modèles de volume peuvent être définis : le modèle de cellules présenté dans la figure 5.14 qui définit les corps solides sous la forme de voxel (cubique) unitaires, qui sont l'équivalent 3D des pixels, la construction à partir de primitive spatiale qui sont des éléments géométriques de base comme les parallélépipèdes rectangles, cônes, sphères ou cylindres (Fig. 5.15) et le modèle des limites, aussi appelé modèle des surfaces (Fig. 5.16)

Chacun de ces modèles, présente des avantages et des inconvénients. Le désir de profiter, à la fois, des avantages qu'offre chaque modèle a conduit les concepteurs à développer des modèles hybrides. A ce propos, Pfund écrivais : « *Dans la pratique, on retrouve souvent*

des modèles hybrides qui, en fonction de la tâche à entreprendre, donne la préférence à un modèle unique respectivement à plusieurs modèles réalisant différentes tâches (administration, analyse et visualisation). Ainsi il existe des systèmes qui combinent les modèles surface et 'fil de fer' ou bien des modèles de volumes hybrides décrits soit par un modèle CSG, soit par un modèle des limites » (Pfund, 1999, p48).

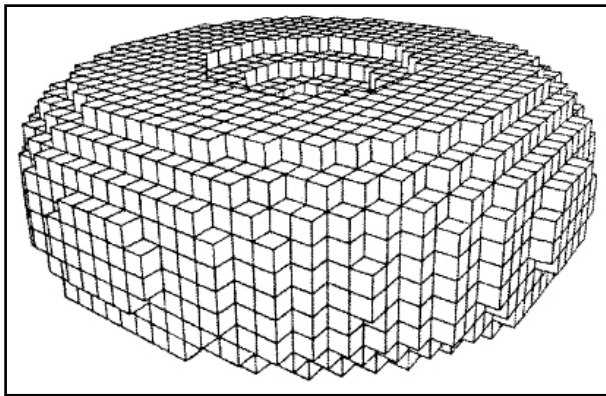


Figure 5.14. Tore selon un modèle de cellules.
Pfund, 1999, p46.

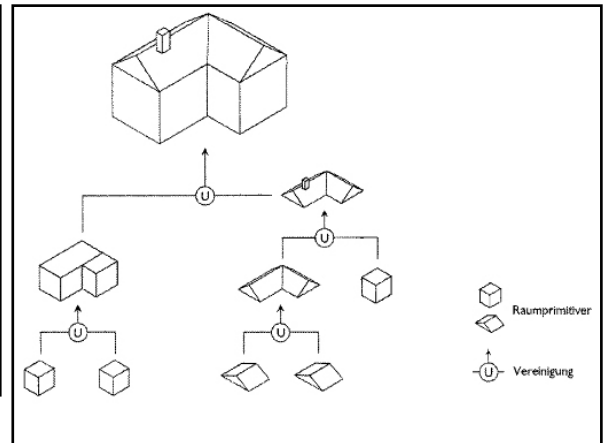


Figure. 5.15. Construction d'une maison par CSG.
Source : Pfund, 1999, p47.

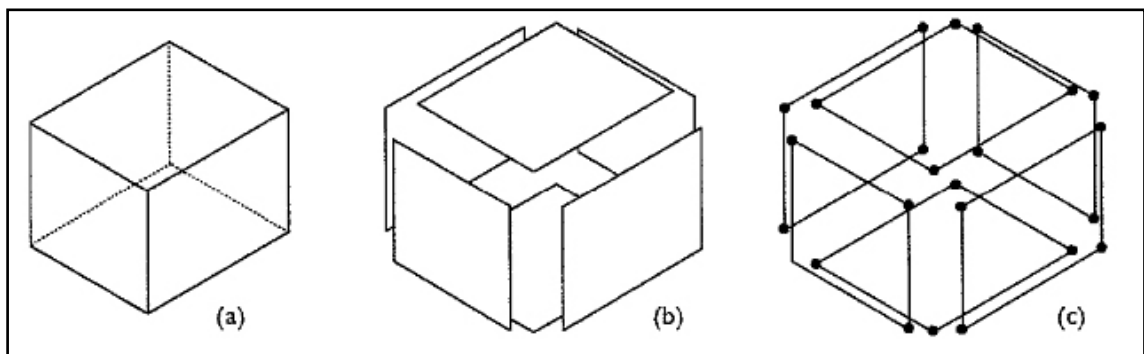


Figure 5.16. Modèle des limites: (a) objet modélisé (b) surfaces enveloppante (c) angles et arrêtes des surfaces. Pfund, 1999, p47.

Les modèles de corps solides peuvent être réalisés sur la base d'éléments graphique de systèmes de dessin assisté par ordinateur (DAO) avec l'interface DXF qui a été pendant longtemps le seul format capable de sauvegarder des données 3D. Cette interface est connue de la plupart des systèmes de conception assistée par ordinateur (CAO) comme AutoCAD, MicroStation, ArchiCAD, 3ds MAX, Arc+, MiniCAD etc.).

Mais ces derniers temps, plusieurs formats possédant des fonctionnalités 3D ont été développés. Sans être exhaustive, on peut citer: VRML qui est un format de donnée permettant la description d'objets dans le but de les visualiser à travers internet, MPEG-4

(Moving Picture Experts Group) un standard ISO pour des applications multimédias, DirectX définie par Microsoft pour les applications graphiques, vidéo, animation 3D, jeux, sons 3D, etc., et JAVA3D qui a été conçue pour écrire des applications graphiques et des applets 3D. Cette dernière donne aux développeurs tout un ensemble de fonctions pour créer, manipuler, visualiser des données tridimensionnelles. (Riedo, 1999 ; Meier, 1999)

Plusieurs recherches ont été orientées vers la génération automatique ou semi-automatique des modèles 3D numériques des sites urbains. Grace à ces travaux, l'utilisateur d'aujourd'hui possède d'une multitude de choix des outils de modélisation tridimensionnelle des bâtiments. Parmi, l'outil proposé par Google nommé *SketchUp*. Il s'inscrit dans une politique visant la constitution d'une banque de données des modèles 3D créés par des utilisateurs. Il permet le téléchargement le partage des modèles créés, une solution sera certainement très utile dans le proche avenir pour la génération des modèles numériques de villes.

Dans ce qui suit, on va présenter en détail la démarche qu'on a suivi pour la création du modèle numérique de la forme urbaine du nouveau quartier administratif.

V.3.2. Description du modèle 3D du quartier administratif

Il a pu être démontré, au cour de cette recherche, qu'il existe un éventail de méthodes et outil permettent l'acquisition de données tridimensionnelles de manière rapide et économique. Ces méthodes sont très variées, tant sur le plan des données nécessaires en entrée que sur celui du degré d'automatisation de la méthode. Les méthodes dépendent aussi du degré de précision désirée. Parfois, on peut se contenter d'une reconstruction grossière, alors que dans d'autres cas, on veut reproduire plus fidèlement un petit secteur. Cependant, toutes ces méthodes s'appuient d'abord sur la reconnaissance plane des formes qui permet l'interprétation automatique d'une partie du contenu graphique des cartes et des plans numérisés. La connaissance de la signification des informations bidimensionnelles extraites, permet une reconstruction facile de modèle tridimensionnel.

Notre travail qui consiste à évaluer le potentiel solaire sur l'enveloppe d'un ensemble de bâtiments, n'exige pas une grande précision dans la reproduction de la scène virtuelle. Les éléments de la morphologie urbaine employés dans cette étude afin de décrire la forme, sont principalement les murs et la géométrie périphériques des toits de bâtiments ainsi que les arbres et quelques mobiliers urbains permanents pouvant être obstacles, en empêchant les rayons solaires à frapper les faces des bâtiments. Des bâtiments ont été dans certains

cas décrits en tant que volumes prismatiques simples, en raison de réduire le temps de calcul. Les éléments constructifs suivants n'ont pas été inclus dans la modélisation : superstructures (cheminées, balcons, lucarnes, etc.), gouttières, parties en surplomb (escaliers extérieurs, verrières, etc.) et tout élément structurant les espaces ouvert (terrasses, vérandas, etc.). Tous ces éléments sont responsables de certains effets d'ombrage qui ont été considérés comme négligeable au cours de l'évaluation globale effectuée dans cette étude.

La méthode adoptée pour la composition des bâtiments dans la présente recherche est la modélisation à l'aide du logiciel AutoCAD, avant l'exportation du résultat vers le logiciel Solene. Notre principe de base de la construction du modèle 3D consiste à diviser la tâche en trois principales étapes :

- Calculer le relief du terrain;
- Localiser les bâtiments;
- Trouver la forme et la hauteur des bâtiments;

Le calcul des reliefs de terrain est l'une des difficiles tâches de ce travail. C'est une recherche des cartes topographiques de la zone considérée dans le but de la construction virtuelle simplifiée du terrain. Un levé topographique (présenté dans l'annexe 2) décrit les courbes de niveau et les altitudes du terrain a été retiré auprès de bureau d'études techniques et d'architecture TAFSAST Hacen, chargé d'étude et de suivi des travaux d'aménagement et de VRD du quartier considéré. Les informations que fourni le levé ont été employé dans la reproduction virtuelle du terrain dans ArchiCAD. Le résultat est exporté par la suite vers AutoCAD sous l'extension DXF.

La deuxième étape nécessite une collection de maximum de documents qui aident à la localisation des bâtiments (plans cadastrales, plans d'architecture, photos aériennes, etc.). Les données bidimensionnelles extraites de ces documents constituent la base du modèle à construire. Dans notre cas, les bâtiments sont repérés grâce à la superposition du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) de la Wilaya de Batna, le levé topographique et une photo satellitaire de la zone concernée prise d'un site internet⁶. on dessine des polygones formant les bâtiments. Cette étape aurait pu être remplacée, ou du moins, initialisée par une méthode automatique segmentant l'image. Un plan numérique définit la position exacte des bâtiments existants ainsi que leur forme bidimensionnelle est

⁶ Site internet [en ligne] URL www.wikimapia.org consulté le 8/8/2012

produit. Les constructions qui n'apparaissent pas dans les documents disponibles sont repérées en effectuant directement des relevés sur le site.

L'étape finale consiste à déterminer la hauteur des bâtiments et la forme de toitures. Sans aucun doute, ce sont les deux informations les plus difficiles à récupérer. Il était nécessaire de suivre les deux opérations pratiques suivantes :

- Bénéficier des plans d'architecture disponibles de certains bâtiments à l'image de siège du club de tourisme et celui du centre des impôts, en analysant leur contenu (élévations, axonométries, etc.).
- Procéder à des enquêtes sur terrain pour les autres bâtiments : le travail réside dans la prise de photos de l'ensemble de bâtiments concernés et d'extraire par la suite les hauteurs qui manque. Les images permettent l'obtention de données qu'il n'est pas possible d'acquérir à travers les plans d'architecture.

Toutes les informations ainsi obtenus ont été employé pour fixer la géométrie finale. Les données 3D résultantes sont livrées avec l'interface DXF. Celle-ci n'est pas connue dans Solene. Il est nécessaire donc de changer l'extension DXF de la géométrie produite vers le format Cir, approprié aux géométries de logiciel de simulation. Cette opération nous oblige à recourir un autre outil CAO : *SketchUp*, qui dispose d'un plugin développé par le CRMAA spécialement pour résoudre le problème en question. Reste à noter que les textures et matériaux des surfaces ne sont pas définies à ce stade. C'est dans le logiciel de simulation *solene* qu'on va les définir par la désignation des caractéristiques thermiques, solaires et lumineuses de chaque matériau utilisé.

Dans la section suivante, on va expliquer d'abord les raisons qui nous ont conduits vers l'utilisation du logiciel *Solene* dans la simulation. Ensuite, décrire sommairement les principaux aspects de ce logiciel, et notamment sa structure générale. Il ne s'agit pas d'entrer dans le détail de ses diverses fonctionnalités, mais plutôt de mettre l'accent sur certains éléments fondamentaux qui vont aider à mieux comprendre son mode de fonctionnement.

V.4. CHOIX DU LOGICIEL DE SIMULATION : LE MODELE THERMO-RADIATIF DE SIMULATION SOLENE

De nombreux logiciels sur le marché traitent le comportement de la lumière et de l'énergie sur l'enveloppe d'un bâtiment et apportent ainsi des solutions pour évaluer ce comportement. La plupart d'entre eux ne sont pas gratuit et la période de leur version

d'essai est très limitée (environ deux semaines). Les logiciels tels que: Ecotect, Radiance, Townscope, soleili⁷, RETScreen⁸, SVRArkitekto⁹, et Solene font un bon exemple. Mais si on a besoin de visualiser les résultats directement sur le volume, le nombre de ces outils va considérablement diminuer. Car, peu est le nombre de logiciels qui présente les résultats de simulation énergétique et/ou lumineuse, à la fois, de manière graphique et chiffrée.

En ajoutant la condition apparie dans la méthode de notre travail, celle de la possibilité de calculer la surface de l'enveloppe d'un bâtiment qui dispose d'une valeur donnée de l'énergie solaire, seulement deux outils de simulation répondent à cette condition :

- le programme PPF développé par R.Compagnon, une application qui fonctionne sur les Pc équipés d'un système d'exploitation Linux, et qui utilise la base de calcul de Radiance pour effectuer les simulations. C'est le programme le plus approprié à notre travail, mais malheureusement, il n'est pas disponible (logiciel non commercialisé) et son apprentissage n'est pas gratuit et nécessite le déplacement vers le développeur.
- Le deuxième outil est Solene, c'est le logiciel qu'on a choisi pour exercer notre travail. Il propose diverses fonctions de simulation qui permettent d'appréhender des modèles géométriques en 3D d'ensembles construits suivant divers paramètres physiques. Des fonctions de visualisation rendent compte des comportements observés dans l'espace et le temps, et il permet aussi, à l'aide de Excel, le calcul des surfaces de la géométrie 3D qui répondent à une condition lumineuse ou énergétique. Une présentation de cet outil va être fournie dans ce qui suit.

V.4.1. Généralités :

Les recherches et les études opérationnelles menées au laboratoire CERMA sur les paramètres solaires, lumineux et radiatifs des projets architecturaux et urbains ont permis d'élaborer un logiciel de simulation solaire : *Solene*. Il traite conjointement les contraintes de ces paramètres et permet de mener des investigations à caractères théorique et pratique sur l'ajustement solaire, microclimatique et morphologique des bâtiments et des fragments urbains dans un souci de conception ou de caractérisation. S'appuyant sur une modélisation réaliste des phénomènes, il intègre en particulier les modèles de ciel et

⁷C'est un logiciel de calcul qui détermine la position du soleil, examine la portée des ombres, et renseigne sur l'ensoleillement de manière graphique et chiffrée.

⁸ Un logiciels qui, sur les données solaires, exécute des simulations solaires et vérifie le rendement énergétique des systèmes photovoltaïques, thermiques, et passifs ainsi que le calcul de l'émission GES.

⁹ Outil de modélisation inverse 3D appliquée à l'ensoleillement, la visibilité et la réflexion solaire et visuelle.

traitent les inter-réflexions dans des scènes où la prise en compte des phénomènes de visibilité est prépondérante. (Groleau, 2000 ; Miguet, 2000 ; Vinet, 2000 ; Bouyer, 2009)

Le logiciel SOLENE, dans un premier temps développé en langage C sur station de travail Unix a été partiellement modifié en langage C++ et est actuellement accessible dans un environnement Windows pour PC (Vinet, 2000). Il possède une large gamme de modes d'exploitation des résultats qui ont permis au fil du temps d'aborder entre autres :

- les questions d'ensoleillement (en terme de tracés d'ombre, de durée d'ensoleillement) et d'énergétique solaire en dissociant le traitement des composantes directes et diffuses ;
- les questions d'éclairage naturel en utilisant des modèles normalisés ou quelconques de luminance de ciel;
- les questions de transmission et de multi-réflexions solaires à l'extérieur et à l'intérieur des bâtiments ;
- les questions de rayonnement grandes longueurs d'onde (IRT) permettant de réaliser un bilan thermique complet et d'évaluer les températures de surface dans des environnements urbains en intégrant peu à peu des modèles thermiques d'aménagements urbains;
- les questions de visibilité et des indicateurs morphologiques urbains;
- les questions de mesures hémisphériques de flux radiatifs à la manière des techniques de télédétection. (Bouyer, 2009, p72)

Le logiciel assure ainsi une aide à l'évaluation des projets, de même qu'il autorise divers types d'investigations à caractère théorique à propos de l'ajustement climatique des bâtiments et des formes urbaines. Il assure également plusieurs fonctions distinctes : la définition des divers objets nécessaires (géométries, ciels, descripteurs, matériaux), puis l'application de différentes fonctions sur ces géométries, qui produiront pour la plupart d'entre elles des *descripteurs* (informations attachées aux différents éléments de surface de ces géométries), et enfin les aspects propres à leur représentation et leur visualisation. (Miguet, 2000 ; Miguet, et Groleau, 2002).

V.4.2. Les objets de Solene

Solene est organisé autour d'un nombre limité d'objets liés entre eux et regroupés dans un espace de travail appelé projet, permettant à l'utilisateur de procéder en plusieurs étapes.

Ces objets sont: le Projet, les géométries, les ciels, les descripteurs et les matériaux. (Bouyer, 2009, Groleau, 2000 ; Miguet, 2000 ; Vinet, 2000).

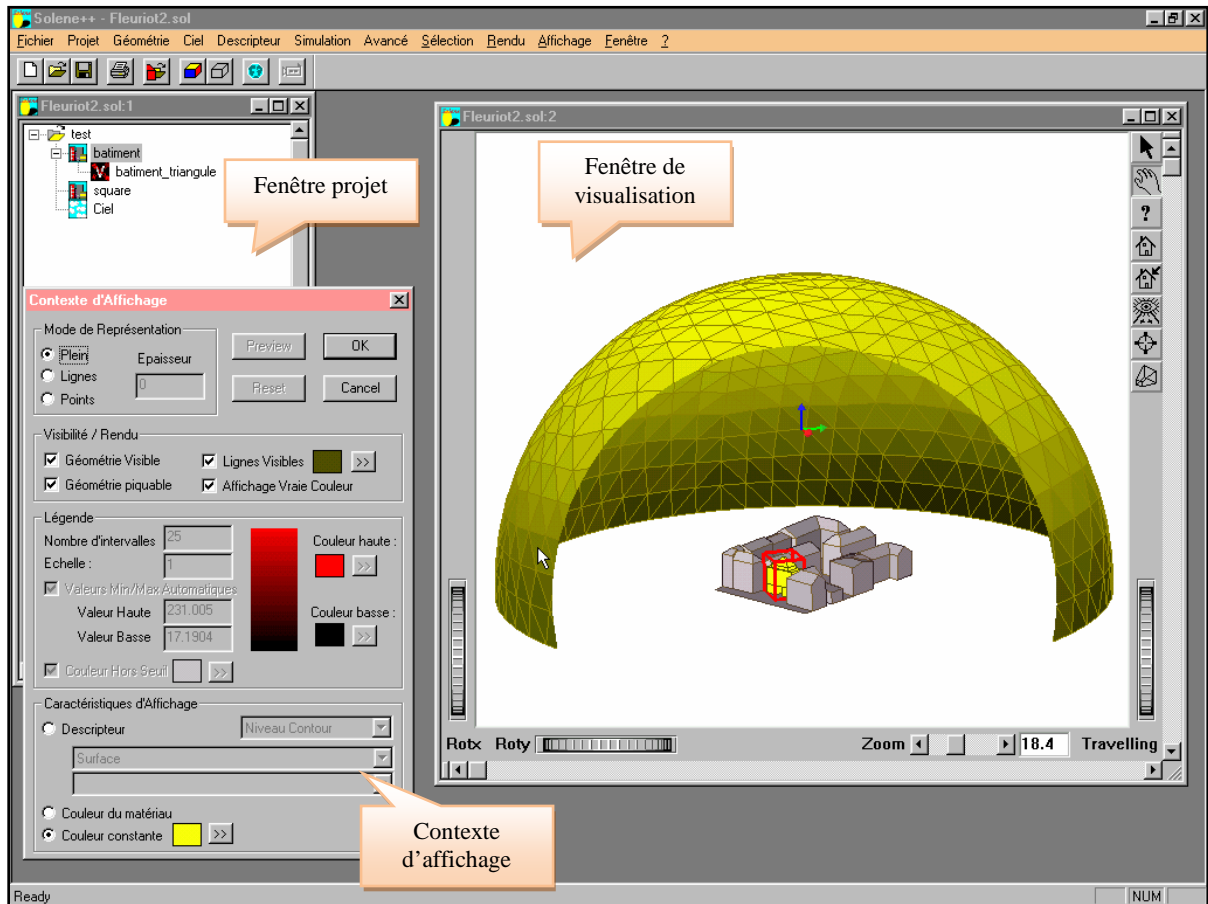


Figure. 5.17. Écran SOLENE : la fenêtre projet (l'ensemble des géométries), le contexte d'affichage ainsi que la fenêtre de visualisation dont la gestion est assurée par Open Inventor.
Source : (Miguet, 2000)

V.4.2.1. Le projet :

Le projet Solene comporte l'ensemble des objets contenus à un instant dans l'application de l'utilisateur ainsi que l'ensemble du contexte d'affichage. Le projet peut être travaillé au cours de plusieurs séances. (CERMA, 1998 ; Groleau, 2000)

V.4.2.2. Les géométries :

Les géométries contiennent la définition géométrique des volumes (objets 3D) définissant un environnement architectural ou urbain. Une géométrie Solene contient la définition point par point des surfaces et des volumes définissant la construction à caractériser. Elle est composée d'un ensemble de faces planes disjointes formées d'une liste de contours polygonaux définis par les coordonnées de leurs sommets, et stockées à la suite dans un fichier d'extension *.cir*. La notion de scène englobe une ou plusieurs géométries distinctes, totalement indépendantes les unes des autres. Chaque face de géométrie est caractérisée

par un *numéro* l'identifiant et une *normale* qui intervient pour autoriser et accélérer les traitements dans de nombreuses opérations de transformations géométriques, calcul de visibilité et calculs angulaires. (Bouyer, 2009 ; CERMA, 1998 ; Miguet, 2000).

Dans cet outil, on peut construire des primitives de base à l'aide d'un modelleur sommaire ainsi que d'effectuer quelques opérations sur les géométries créées. Encore, on a la possibilité d'importer des modèles géométriques 3D, dans le format *.cir* à partir de différentes bases de données topographiques, SIG, logiciels de CAO/DAO et modelleurs 3D. Dans notre travail, la forme urbaine objet de simulation a été modélisée dans *AutoCAD*, puis transférée à *SketchUp* avec l'interface DXF afin de changer l'extension vers le format CIR, approprié aux géométries de Solene.

Le modèle Solene permet de travailler à une échelle plus fine que les calculs en élément de surface urbain. L'échelle d'espace adoptée peut être celle d'un bâtiment, d'une rue, d'un petit ensemble de rues et bâtiments (fragment urbain), ou éventuellement d'un quartier. En effet, la majorité des simulations dans l'outil s'effectue sur des géométries discrétisées, construites à partir de fonctions de triangulation des géométries de base. L'opérateur choisit de raffiner ou de dilater le maillage résultant de l'opération de discrétisation des facettes en fonction du niveau d'expertise requis, des modèles physiques utilisés dans la simulation et de la puissance de la machine et du temps disponible. (Bouyer, 2009)

V.4.2.2.1. Les ciels :

Ce sont des géométries particulières, qui acceptent une partie seulement des traitements qu'on peut appliquer aux géométries. Un ciel est un hémisphère de très grande dimension par rapport à celle de la scène à étudier (fig5.18), discrétisé géodésiquement en facettes triangulaires supportant des conditions de ciel (solaires ou lumineuses) ; ce ciel constituant une source d'énergie diffuse dont l'intensité n'est pas uniforme et sera utilisé dans de nombreuses simulations. (CERMA, 1998 ; Groleau, 2000)

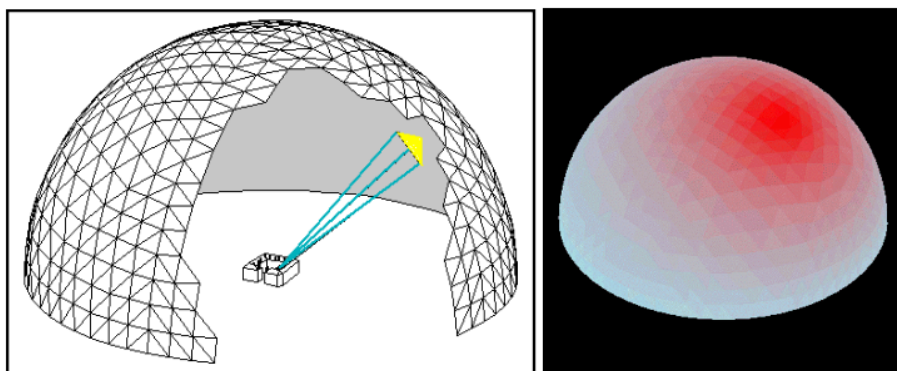


Figure.5.18. la géométrie ciel dans Solene : source d'énergie diffuse
Source : Groleau, 2000, p4.

V.4.2.3. Les descripteurs :

L'information est affectée aux contours, faces, et géométries sous la forme d'un descripteur correspondant à une série de valeurs numériques stockée dans des fichiers d'extension *.val*. Le périmètre et la surface constituent les premiers descripteurs qui caractérisent un contour. Les autres descripteurs sont les résultats des différentes simulations appliquées aux géométries (apports solaires, durée d'ensoleillement, facteur de masque, intensité lumineuse...etc.) Ils permettent ainsi l'analyse et la visualisation des géométries à travers divers critères suivant une légende associée à la gamme de valeurs. (Bouyer, 2009).

Solene utilise les descripteurs *simples*, les descripteurs *temps* et les descripteurs *simple-temps*. On parlera de descripteur *simple* dans le cas où le contour reçoit une valeur unique, et de descripteur fonction du *temps* si le descripteur en question se voit attribuer un ensemble de valeurs qui correspondent aux résultats de la simulation pour divers pas de temps ; c'est le cas pour la simulation de l'ensoleillement d'un site urbain tout au long d'une journée ; le descripteur *simple-temps* correspond à l'ensemble des descripteurs simples obtenus par pas horaires par exemple, chacun d'eux donnant l'état d'ensoleillement d'une face – au soleil ou à l'ombre – à une date et à une heure données.

Les descripteurs possèdent un type, appelé *catégorie*, qui permet de les distinguer les uns des autres et de les rendre actif pour certaines applications seulement. Cette catégorie est déterminée par la fonction qui crée le descripteur. (CERMA, 1998 ; Miguët, 2000)

V.4.2.3.1. Les matériaux :

Le descripteur *matériau* recouvre lui aussi la multiplicité d'informations des descripteurs fonction du temps. Les matériaux sont définis dans une base de matériaux accessibles à l'utilisateur ; ils représentent les caractéristiques physiques des faces des géométries (lumineuses, thermiques, autres...). A chaque face est associé un matériau, déterminant ainsi son comportement vis-à-vis des phénomènes physiques qui lui sont appliqués. Ces différentes caractéristiques représentent des descripteurs simples correspondent aux coefficients de réflexion, de transmission, à la capacité calorifique, etc., c'est-à-dire au comportement du matériau vis à vis de la lumière incidente, à la manière dont il transmet la chaleur, etc. (CERMA, 1998 ; Groleau, 2000)

V.4.2.4. Les fonctions :

Le principe de fonctionnement de Solene se réduit essentiellement à appliquer des fonctions sur les géométries recouvrent les multiples actions décidées par l'utilisateur (Miguet, 2000). Ces fonctions sont de divers ordres, elles concernent principalement :

- Les transformations géométriques (translation, rotation, triangulation...) contenues dans le menu *Géométrie*.
- La visualisation des géométries (contexte d'affichage, descripteur affiché...) contenues également dans le menu *Géométrie*.
- Les opérations applicables aux descripteurs (création, calcul...) contenues dans le menu *Descripteur*.
- Les simulations des phénomènes physiques qui sont contenues dans le menu *Simulation*. Une fonction de simulation produira toujours un ou plusieurs descripteurs nouveaux, qui pourront ensuite être visualisés indépendamment ou bien globalisés par face.

Il existe aussi d'autres fonctions qui s'exécutent à l'intérieur d'une fenêtre DOS, en dehors de l'interface nommées *fonctions externes*. Ces fonctions concernent principalement les simulations et produisent des résultats peuvent être sauvegardés comme descripteurs sous l'extension *.val*. (CERMA, 1998)

V.4.3. Les simulations :

L'intérêt de Solene est de calculer indépendamment sur les géométries, les différents phénomènes physiques relatifs à l'ensoleillement et à l'énergie solaire, à l'éclairement naturel provenant de la voûte céleste, au rayonnement et aux températures de parois. Une fois déterminées, elles servent d'entrées aux simulations thermoradiatives. (Bouyer, 2009). Suite à ces simulations, plusieurs résultats sont obtenues dont les principaux sont :

- La présentation des surfaces qui sont à l'ombre (Fig.5.19.a);
- La durée de la radiation (Fig.5.19.b);
- Le calcul et l'évaluation des radiations solaires directes (Fig.5.19.c);
- La modélisation de la voute céleste et le calcul de l'énergie que fournit cette source (Fig.5.19.d);
- L'évaluation du facteur de forme (Fig.5.19.e);
- La prédiction de l'éclairage artificiel. (Fig.5.19.f). (Prianto, et Al, 2000)

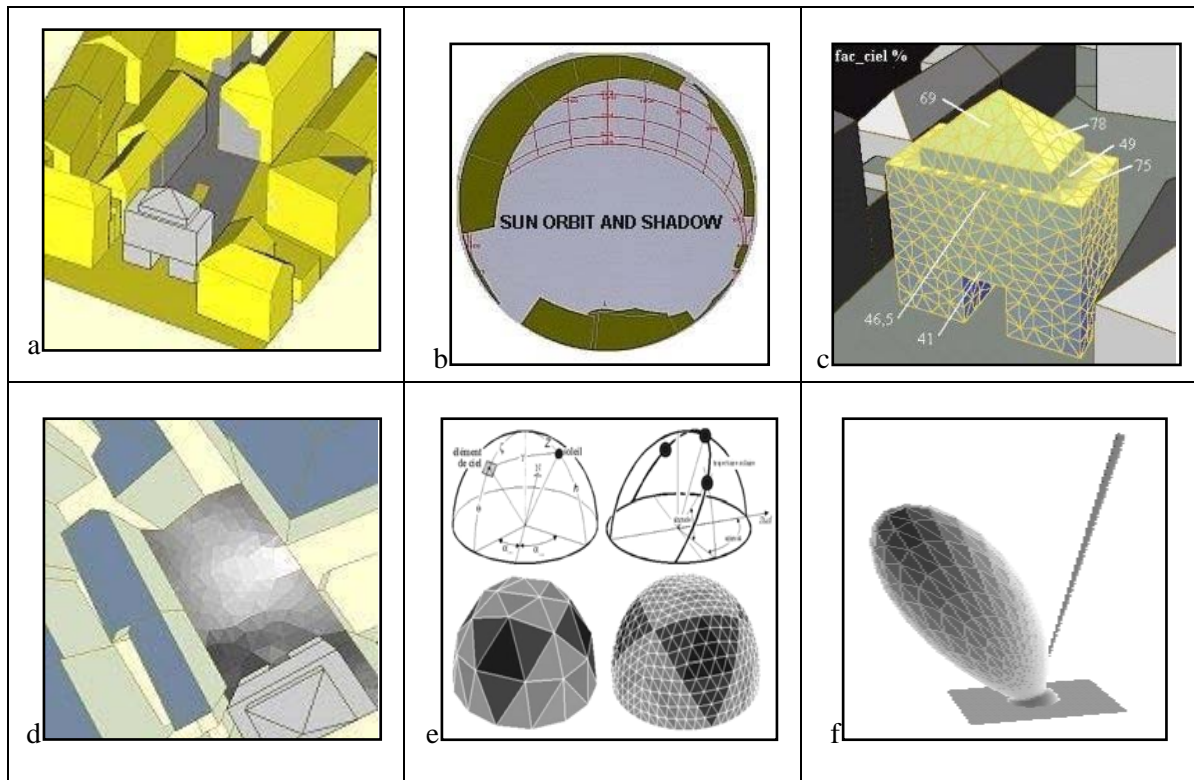


Figure.5.19. les différents types de résultats de simulations dans Solene.
Source : Prianto, et Al, 2000, p165.

A noter que les simulations ne sont bien évidemment disponibles que si la totalité des paramètres d'entrée nécessaires sont réunis (par exemple l'étude de l'éclairement lumineux implique la création d'un modèle de ciel ainsi que la discrétisation préalable de la scène).

V.4.3.1. La simulation solaire :

La simulation solaire concerne principalement les phénomènes physiques liés à l'ensoleillement, à l'énergie solaire et l'éclairement naturel en provenance de la voûte céleste. Deux méthodes peuvent être utilisées : la méthode *héliodon* qui indique le tracé exact des ombres, et la méthode des *masques* qui permet de connaître les conditions d'ensoleillement d'un site au cours du temps. Les résultats par la suite permettent de connaître exactement la durée d'ensoleillement et la quantité d'énergie et de lumière reçue pour chaque partie de la surface de l'enveloppe. (Bouyer, 2009 ; CERMA, 1998 ; Miguet, 2000)

La détermination de l'énergie directe pour les différents points d'une scène revient à évaluer les obstacles sur le trajet du rayon solaire et à affecter une valeur relative à l'état d'ensoleillement de la surface considérée. (Bouyer, 2009)

L'évaluation de l'éclairement naturel ou d'énergie diffuse est obtenue en évaluant en tout point de la scène à étudier (préalablement discrétisée) l'énergie reçue de la voûte céleste. (Bouyer, 2009)

V.4.4. Résumé des différentes étapes des simulations effectuées :

Nous résumons ici les différentes opérations que nous avons effectuées dans le logiciel Solene pour le calcul de l'énergie solaire globale et de l'éclairement reçu sur les surfaces de la géométrie.

1. Ouvrir un nouveau projet
2. La localisation du lieu en déterminant la latitude et la longitude de la wilaya de Batna.
3. Importer le fichier de géométrie de la scène qui est modelé à l'aide du logiciel AutoCAD (consulter la section 3). Ensuite, une discrétisation par triangulation de cette géométrie doit être exécutée en indiquant la dimension « 10 » de la surface de la maille. (c'est la surface maximale que peut prendre chaque triangle de la maille)
4. Associer une base de matériaux aux facettes de la géométrie
5. Créer les géométries *ciel* qui correspondent aux types fréquents de ciel dans notre lieu de recherche. le niveau de discrétisation choisi est de « 256 »
6. Créer les modèles de luminance solaire associés aux types de ciel précédemment créé en choisissant les jours de simulation. Ceux-ci correspondent au premier jour, le 11^{ème}, et le 21^{ème} de chaque mois de l'année, de 8h à 18h (heures de travail) avec un pas de temps d'une heure.
7. Créer les modèles de radiance solaire associés aux types de ciel de la même manière que ceux de la luminance, en spécifiant la période du lever au coucher de soleil de chaque jour au lieu de celle des heures de travail.
8. Lancer la *simulation masques* pour les journées données et les heures de simulation envisagées. Un degré de précision de 5minutes est déterminé.
9. Calculer la composante directe de l'énergie solaire pour les mêmes périodes en précisant la géométrie *masque* et la géométrie *ciel*. A l'issue de cette étape l'énergie solaire directe est sauvegardée selon trois composantes : incidente, absorbée et réfléchie.
10. Calculer la composante diffuse de l'énergie solaire en indiquant le type de ciel et le modèle de radiance solaire retenu. Les énergies diffuses sont sauvegardées selon les mêmes désignations précédentes.

11. Calculer la composante globale de l'énergie solaire. celle-ci est obtenue en cumulant les énergies solaires directes et diffuses incidentes. L'ensemble des flux calculés s'exprime en W/m^2 .
12. Calculer l'éclairement direct en provenance du ciel pour les mêmes périodes en précisant aussi la géométrie *masque*, la géométrie *ciel*, et le modèle de luminance solaire retenu. L'ensemble des éclairements calculés s'exprime en Lux.

L'exploitation des résultats s'effectue grâce aux descripteurs issus des différentes simulations. Comme on l'a déjà évoqué, chaque descripteur contient un type d'information pour chaque élément de surface de l'environnement étudié. L'exploitation des résultats peut consister simplement à une interprétation de la valeur du descripteur, mais aussi à dégager de nouvelles informations par opérations entre descripteurs (par exemple la différence entre deux descripteurs en créera un troisième, dont l'affichage permettra la mise en évidence d'un aspect particulier du phénomène étudié). C'est la procédure qu'on a suivi pour représenter les résultats cumulés (le cas du descripteur de l'énergie solaire globale annuelle comme exemple). Les valeurs des descripteurs peuvent également être globalisées au niveau d'une face ou pour la totalité de la géométrie, permettant ainsi d'obtenir des valeurs moyennes par face ou par entité géométrique respectivement.

V.5. CONCLUSION

Le présent travail s'inscrit dans une politique axée sur la mise en valeur d'une ressource inépuisable : le solaire, et son utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. L'idée générale est de sélectionner une forme urbaine qui -après notre intervention- va adhérer aux principes du développement durable, en évaluant le potentiel d'utilisation de l'énergie solaire (systèmes solaires passifs et actifs, l'éclairage naturel et l'intégration du photovoltaïque).

À travers l'analyse et l'observation des quartiers de la ville de Batna, il a été possible de choisir le nouveau quartier administratif comme exemple d'étude. Du point de vue quantitatif, les valeurs d'ensoleillement et de l'éclairage naturel que présente le site du cas d'étude apparues suffisantes, si on les compare avec celles que représentent la plupart des cas d'études en Europe. Nous avons discuté par la suite, l'aspect formel de la géométrie choisie, de lire les propriétés et les caractéristiques de la forme urbaine, en faisant toujours liaison entre chaque caractère et son rôle dans le contrôle de l'ensoleillement.

Après un bref aperçu sur le rôle des moyens informatiques actuels dans la création de nouvelles perspectives et visions virtuelles avec des applications appropriées, on a expliqué la méthode adoptée pour la construction du modèle 3D du quartier. L'utilisation de ces modèles devient une nécessité en raison du grand avantage qu'elle garantit, celui de la visualisation immédiate de la scène à étudier. A ce propos, de nombreux logiciels ont été développés au cours des dernières années et peuvent être choisis selon divers objectifs. Dans notre travail, la modélisation a été effectuée à l'aide du logiciel AutoCAD, avant l'exportation du résultat vers le logiciel Solene. Trois principales étapes ont été suivies pour accomplir cette tâche :

- Calculer le relief du terrain;
- Localiser les bâtiments;
- Trouver la forme et la hauteur des bâtiments;

Le rassemblement des données et l'accumulation des différents documents pour la création du modèle numérique utilisé dans ce mémoire est la tâche qui a pris le plus de temps. C'est un travail long, mais on peut le considérer comme un investissement de temps qui pourrait être récompensé si le modèle est employé dans les futures recherches.

De nombreux logiciels sur le marché traitent le comportement de la lumière et de l'énergie sur l'enveloppe d'un bâtiment et apportent ainsi des solutions pour évaluer ce comportement. La dernière partie de ce chapitre, visant à expliquer d'abord les raisons qui nous ont conduits vers l'utilisation du logiciel *Solene* dans la simulation. Démontrer les potentialités de cet outil de simulation préalablement développé au sein du CERMA. Une description sommaire des principaux aspects du logiciel, notamment la structure générale de cet ensemble de simulation a été présentée. On a vu aussi que cet outil propose diverses fonctions de simulation qui permettent d'appréhender des modèles géométriques en 3D d'ensembles construits suivant divers paramètres physiques. Il contient notamment des fonctions de visualisation qui rendent compte des comportements observés dans l'espace et le temps. Il permet aussi, à l'aide d'Excel, le calcul des surfaces de la géométrie 3D qui répondent à une condition lumineuse ou énergétique, Une donnée très importante et inévitable dans le processus d'évaluation utilisé dans cette recherche.

Chapitre 06,

L'évaluation du potentiel

Solaire de cas d'étude

VI.1.INTRODUCTION :

Ce chapitre a pour objectif l'évaluation du potentiel solaire au niveau de la géométrie de cas d'étude. Il s'agit d'effectuer plusieurs simulations dans le but de recueillir les résultats qui vont servir à déterminer les indicateurs de performance solaire¹. Ces derniers vont permettre de quantifier le rendement énergétique et celui de la lumière naturelle dans les façades et les toitures du modèle numérique du quartier administratif de la ville de Batna.

En d'autres termes, c'est d'estimer la quantité d'énergie disponible et l'emplacement approprié pour les technologies solaires suivantes :

- les systèmes actif et passif de chauffage.
- la production de l'électricité photovoltaïque.
- les systèmes d'éclairage naturel.

VI.2.DEFINITION DES PARAMETRES GLOBAUX EN ENTREE POUR LES SIMULATIONS :

Avant d'aborder les procédures, les techniques et les principes des traitements spécifiques pour effectuer les simulations solaires sur les formes urbaines choisies, il est important de fixer certains paramètres qui sont communs aux différents cas simulés. Ces paramètres concernent :

- Les paramètres d'environnement.
- Les types de ciel
- Affectation des matériaux

¹ Ou pourcentage de viabilité, c'est le pourcentage de l'enveloppe qui répond aux exigences énergétiques pour l'application des techniques solaires définies.

VI.2.1. Les paramètres d'environnement :

Les paramètres d'environnement permettent de fixer la latitude du lieu « cas d'étude » ainsi que sa longitude. Pour la ville de Batna, la latitude est de **35 °Nord**, et la longitude de **6 ° Est**.

VI.2.2. Types de ciel :

Pour connaître les caractéristiques lumineuses et solaires (luminance et radiance) durant chaque saison de l'année, il est nécessaire de configurer la géométrie du ciel. Sous *Solene*, il est nécessaire de déterminer deux caractéristiques pour chaque géométrie ciel :

En premier lieu, il est nécessaire de déterminer l'état du ciel lors des simulations. La figure ci-dessous (Figure 6.1) démontre en pourcentage les fréquences mensuelles de chaque type de ciel pour la ville de Batna.

Pour les mois d'été : (Juin, Juillet et Aout) le type « Ciel clair » est le plus fréquent. En outre, durant tous les autres mois de l'année, le Ciel couvert est dominant. Deux coefficients servent à définir l'état de ciel à savoir : *epsilon* compris entre 1 et 12, définit la couverture nuageuse (> 6 pour le ciel clair) et *Delta* compris entre 0,01 et 0,6, définit l'opacité par l'épaisseur des nuages, du très sombre au très brillant. Les figures 6.2 et 6.3 présentent une modélisation des ciels choisis ainsi que leurs paramètres de configuration. (Manuel d'utilisation Solene)

Pour compléter la définition du ciel, il est nécessaire de préciser le degré de discrétisation à appliquer sur la sphère (c-à-dire le nombre de faces triangulaires). Pour toutes les simulations, un nombre de face égal à 256 a été établi. Cette valeur va permettre un degré de précision acceptable dans l'estimation des radiances et des éclaircissements émises par la voûte céleste, et un temps de simulation plutôt réduit. Ce dernier peut atteindre les 5 heures par simulation (calcul de l'éclaircissement) si on choisit un nombre de faces plus grand (voir la figure 1 et 2).

VI.2.3. Affectation des matériaux :

Les matériaux de construction représentent les caractéristiques physiques des faces de la géométrie. Elles sont utilisées dans les différentes simulations. Les propriétés physiques et

thermiques des facettes associées aux matériaux choisies sont présentées dans le tableau 6.1.

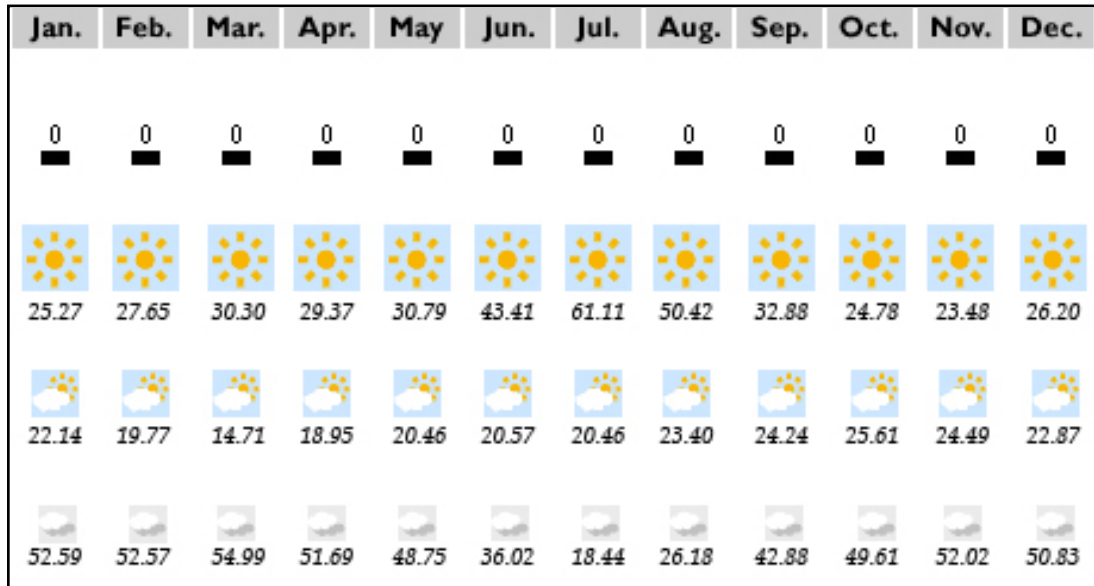
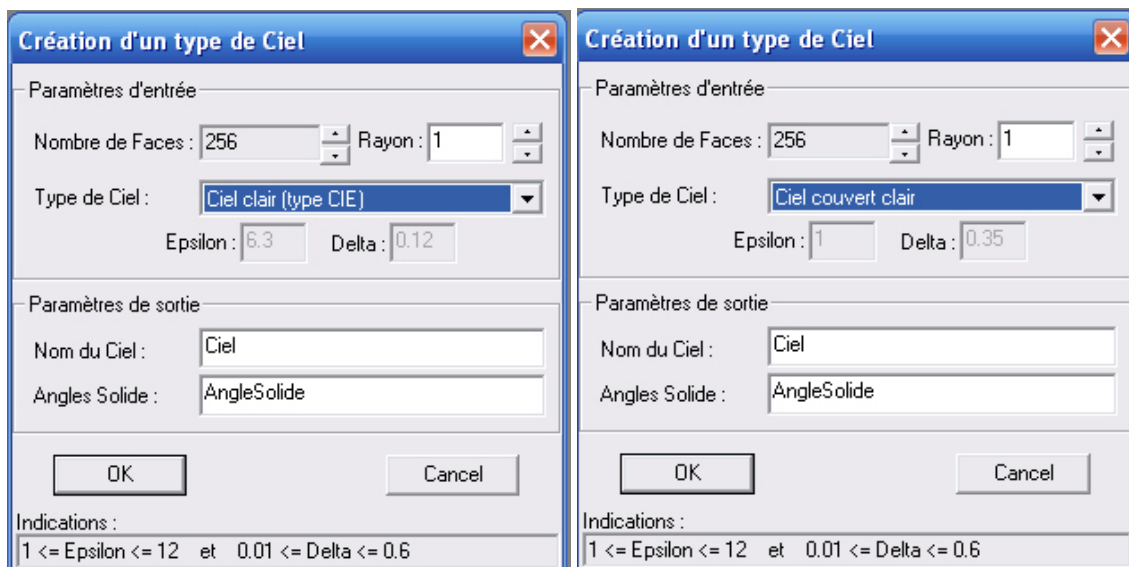


Figure 6.1. Fréquence mensuelle de chaque type de ciel pour la wilaya de Batna basé sur les pourcentages moyens des 22 ans (Juil 1983 - Juin 2005).

Source: [online] URL : <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse> (Consulter le 22 février 2013).



Figures 6.2-6.3. Modélisation & configuration –dans Solene- des géométries ciels utilisés dans les simulations (à droite ciel clair type CIE utilisé pour les mois d’été, à gauche ciel couvert clair utilisé pour tous les autre mois).

Source : Solene

	coefficient	Surface en béton claire (Murs et toitures)	surface en dallage de béton (Sol)
Propriétés thermiques	Réflexion	0.9	0.9
	Conductance	0.9	0.75
	Masse volumique (kg/m ³)	2100	2300
	Capacité calorifique massique (J/kg)	870	960
Propriétés solaires	absorption	0.45	0.50
	réflexion	0.2	0.25
	transmission	0.35	0.25
Propriétés lumineuses	absorption	0.2	0.3
	réflexion	0.55	0.4
	transmission	0.25	0.3

Tableau 6.1 : les caractéristiques thermiques, solaires et lumineuses des matériaux choisis
Source: [online] URL : <http://www-energie2.arch.ucl.ac.be> (consulté le : 7 février 2013).

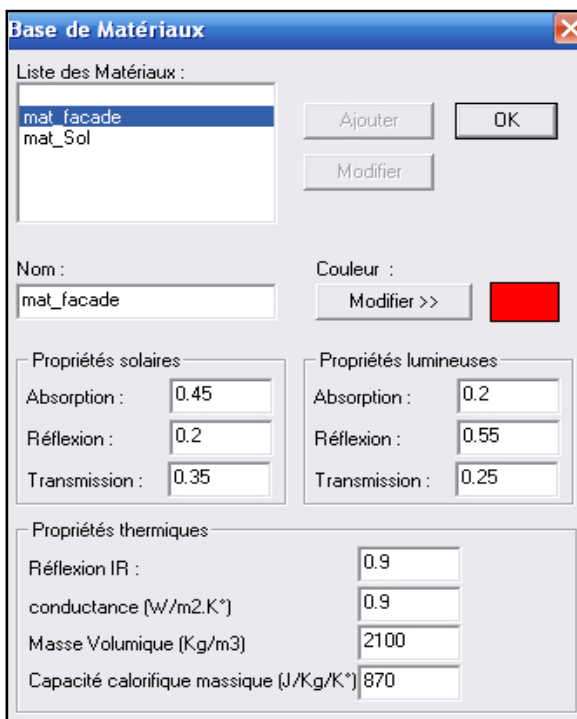


Figure 6.4. Fenêtre de configuration de base de matériaux utilisés dans *Solene*
Source : *Solene*

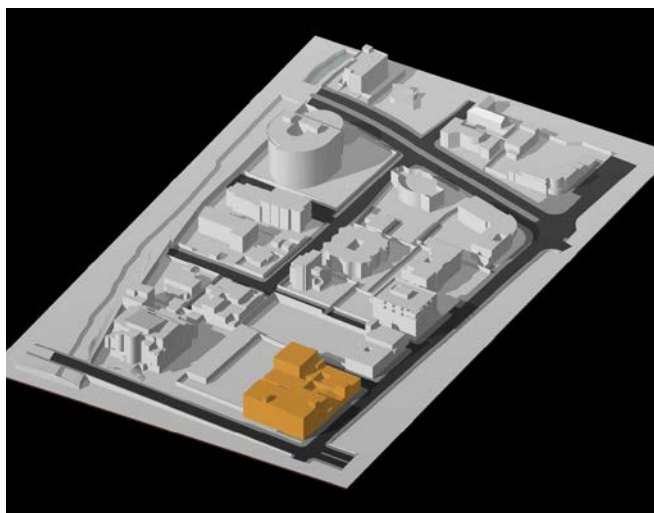
VI.3. DEFINITION DES PERFORMANCES SOLAIRES

GLOBALES DU CAS D'ETUDE :

Le but de cette partie d'étude consiste à fournir des informations concrètes sur les performances solaires globales que notre forme initiale du cas d'étude peut garantir et exploité afin de soutenir des stratégies pour améliorer les performances environnementales des bâtiments considérés.

VI.3.1. Informations utiles sur la géométrie du cas d'étude :

En raison de la faible performance de machines de calcul disponibles, les simulations ont été menées sur une seule partie de la forme initiale choisie (voir les figures 6.5 ; 6.6). On c'est limité à une géométrie urbaine composée de deux blocs séparés qui couvrent une surface de 1682 m² dont la hauteur moyenne est de trois niveaux (environ 9m). L'activité administrative est l'occupation dominante dans les bâtiments qui composent la géométrie, mais il existe d'autres activités telles que l'habitat et le commerce. Plusieurs configurations urbaines forment l'environnement voisin : des blocs d'édifices de plusieurs niveaux et de faible densité au Nord et au Sud, un espace ouvert à l'Est et un bloc de garages à l'Ouest. Cependant, l'emplacement assure un accès considérable à l'énergie solaire, et offre des possibilités pour la régénération environnementale. (Le tableau 6.2) illustre quelques informations utiles sur la forme objet d'étude qui vont être utilisées dans les prochaines étapes de la recherche.



Figures 6.5 ; 6.6. Représentation plane et tridimensionnelle de la partie de la forme urbaine du quartier administratif sélectionnée comme cas d'étude objet de la simulation.

Source : *Auteur*



Figures 6.7 et 6.8. Vues sur la partie sélectionnée comme cas d'étude objet de la simulation. (À droite: la face Nord-Est, à gauche : la face Sud-Est.

Source des figures de 6.5 à 6.8: Auteur

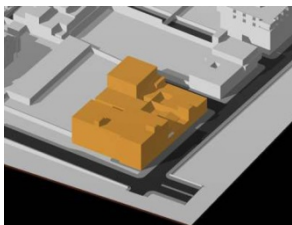
Cas d'étude	Surface de site (m ²)	Emprise au sol (m ²)	Surface plancher (m ²)	Surface de l'enveloppe (m ²)		Volume (m ³)	Hauteur moyenne des bâtiments (m)	Coefficient de forme	Densité des bâtiments
	2450,65	1682,34	4926,32	façades	toitures	14961,36	8,89	0,362	0,686
				3490,71	1929,48				

Tableau 6.2. Informations globales sur la géométrie de cas d'étude.

Source : Auteur

Le tableau ci-dessus (tableau 6.2) montre que la géométrie établie possède un index de densité plutôt élevé, donc une petite surface de l'enveloppe exposé au soleil ainsi qu'une obscurité élevé se qui va peut être réduire particulièrement les gains énergétiques solaires des façades.

Le schéma d'orientation (voir le schéma 6.1 et la figure 6.9) indique que les rues de la forme urbaine prennent l'orientation (Nord Ouest – Sud Est) et (Nord Est – Sud Ouest) avec un degré d'inclinaison de 46° du Nord géographique.

Les informations qu'illustrent le (tableau 6.3) indiquent deux orientations prédominantes des faces de la géométrie que sont : Sud-Est et Nord-Ouest avec un écart de 5 à 8% des deux autres orientations. Aussi, de l'analyse urbaine et du gabarit ressort deux grandes façades sans vis-à-vis pleinement exposées, et deux autres, secondaires avec un vis-à-vis à mi-hauteur du gabarit du projet.

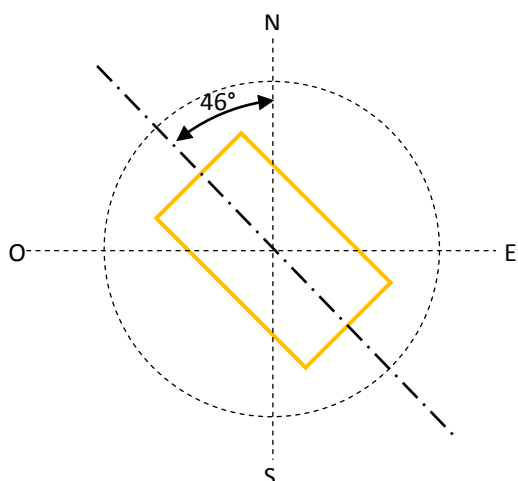


Schéma 6.1

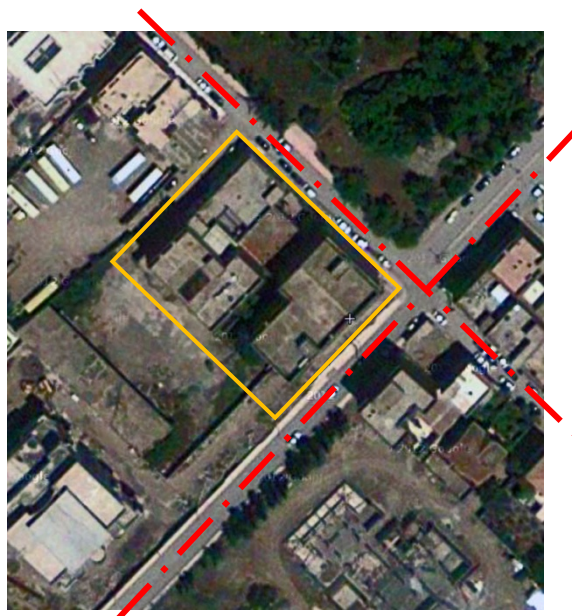


Figure 6.9

Schéma 6.1 et figure 6.9: Batna. Cité administrative. Orientation de la géométrie cas d'étude

Source figure 6.9 : [online] URL: <http://www.wikimapia.org> (consulté le 12 février 2013)

Orientation	façades				toitures
	Sud-Est	Sud-Ouest	Nord-Ouest	Nord-Est	
surface (m2)	1015.26	738.34	961.88	806.99	1660,17
Occupation des faces en %	28.82	20.96	27.31	22.91	

Tableau 6.3. Surface des faces de l'enveloppe de la géométrie de cas d'étude par orientation.

Source du tableau 6.3 et schéma 6.1: Auteur

VI.3.2. Définition des indicateurs de performance solaire:

Les représentations globales de disponibilité solaire et de lumière du jour peuvent servir à évaluer le potentiel pour différentes applications d'énergie renouvelable. Dans cette étude,

quatre applications ont été étudiées : les techniques solaires passives, active, photovoltaïques et de lumière du jour.

Dans une première étape, on va déterminer un seuil pour chaque technique solaire. Une valeur de seuil indique la quantité minimale de radiation exigé pour chaque installation solaire afin d'être considéré (R. Compagnon, 2004) (réf section3 chapitre4).

VI.3.2.1. Calcul des seuils² :

VI.3.2.1.1. Seuil d'énergie solaire pour les techniques solaires passives :

C'est une donnée requise pour égaliser le bilan énergétique entre les gains et les pertes de chaleur solaires pendant une saison de chauffage entière, Le paramètre G_{seuil} est calculé par la formule suivante :

$$G_{\text{seuil_psv}} \text{ (kwh/m}^2\text{)} = \frac{24 \text{ DD } U}{1000 \text{ g } n} \dots\dots\dots [1]$$

Source : (R. Compagnon, 2000).

Dont :

U : le coefficient de perte de chaleur spécifique d'une fenêtre. **U=1,3(w/m²k).**

g : est le SHGC ; transmission de l'énergie solaire de la fenêtre : **g=0.75**

n : facteur d'utilisation de l'énergie solaire.

DD : Le *degré-jour* de *chauffe* en (Kj), correspond à la situation où la température moyenne de la journée est inférieure à la température de référence (TF).

DD = 2544 Kd. (cette valeur est obtenue à la base d'une température de référence de 60 F^{o3}. pour plus d'information veuillez consulter le tableau 1.7 du premier annexe)

Soit :
$$G_{\text{seuil_psv}} \text{ (kwh/m}^2\text{)} = \frac{24*2544*1.3}{1000*0.75*0.7}$$

Comme résultat, les valeurs de seuils suivantes ont été obtenues :

Si $\eta=0,7$; $G_{\text{seuil_psv}} = 151 \text{ KWh/m}^2$

Si $\eta=0,5$; $G_{\text{seuil_psv}} = 212 \text{ KWh/m}^2$

² Pour plus d'informations sur les formules veuillez consulter la section 4 du chapitre 4

³ Correspond à 15,56 C°.

VI.3.2.1.2. Seuil d'énergie solaire pour l'intégration des systèmes PV sur les bâtiments:

Pour les systèmes photovoltaïques, installés sur les façades de bâtiments, un seuil annuel d'énergie solaire $G_{\text{seuil_pv}} = 800 \text{ kWh/m}^2$ est actuellement considéré comme seuil raisonnable. Pour les toits qui disposent habituellement d'une exposition meilleure, ce seuil est augmenté jusqu'à 1000 kWh/m^2 . (R. Compagnon, 2000, p15), (R. Compagnon, 2004).

VI.3.2.1.3. seuil d'éclairement pour les systèmes de lumière du jour :

Afin de définir un seuil E_{seuil} d'éclairement lumineux, R. Compagnon (R. Compagnon, 2000, p16) a mis au point une relation simple entre l'éclairement lumineux moyen E_w de plan de travail et la moyenne d'éclairement lumineux vertical extérieur (sur l'enveloppe de bâtiment) E_o

$$E_w (\text{lx}) = CU E_o \dots \dots \dots [2]$$

Où : CU est un coefficient d'utilisation

Source : (R. Compagnon, 2000, p15).

Plusieurs coefficients CU ont été calculés pour divers systèmes de lumière du jour. Pour des ouvertures verticales, CU prend habituellement la valeur 0,05. Si l'éclairement lumineux moyen du plan de travail est fixe à $E_w = 500 \text{ lx}$, la valeur- seuil pour des façades peut être estimée comme suite :

$$E_{\text{seuil}} (\text{lux}) = E_w / CU = 10\ 000 \dots \dots \dots [3]$$

(R. Compagnon, 2000), (R. Compagnon, 2004).

VI.3.2.1.4. seuil d'énergie solaire pour les collecteurs solaires actifs :

Pour les collecteurs solaires thermiques installés sur les façades des bâtiments, un seuil d'irradiation annuel de $G_{\text{seuil_act}} = 400 \text{ kWh/m}^2$ est actuellement considéré comme seuil raisonnable au moins pour les collecteurs conventionnels plat. Pour les toits qui ont habituellement de meilleures expositions, ce seuil est augmenté jusqu'à 600 kWh/m^2 . (R. Compagnon, 2004, p328)

Le tableau suivant (tableau 6.4) récapitule les différents seuils proposés selon leur facteur d'utilisation η et les moyennes des énergies solaires correspondantes.

Techniques solaire	Seuil pour les systèmes montés sur les façades	Seuil pour les systèmes montés sur les toitures	Paramètres de calcul
Réchauffement thermique passif	151 212	/ /	$\eta=0,7$ $\eta=0,5$
Systèmes de lumière du jour	10 000	/	/
Collecteurs thermiques solaires	400	600	/
Systèmes photovoltaïques	800	1000	/

Tableau 6.4. Récapitulatif des valeurs de seuils proposés :
Source : Auteur.

VI.3.2.2. Calcul de l'éclairement lumineux et de l'énergie solaire globale :

Pour chaque cas simulé, la création des deux modèles de luminance et de radiance solaire est inévitable. Elles seront utilisées par la suite dans le calcul des éclairagements autant que les énergies directes, diffuses et globales reçues sur l'enveloppe de la géométrie. Dans les tableaux et schémas qui suivent, on a donné un exemple de radiance et de luminance moyenne en provenance du ciel pour la latitude de Batna dans les journées des solstices (hiver, été et printemps). (Tableau 6.5 ; graphes 6.2 ; 6.3 et la figure 6.10).

Il est important de mentionner que le logiciel de simulation *Solene* calcul la luminance et la radiance solaire reçu sur chaque triangle de la géométrie objet d'étude et les résultats présentés ci-dessus sont les moyenne de toutes les faces de la géométrie.

Des évaluations ont été faites du rayonnement solaire disponible dans les zones de cas d'étude. Elles ont permis pour comparer le flux brut et utile de rayonnement solaire et de lumière de jour dans la géométrie. Les influences diverses des masques sur l'accès de lumière de jour et du rayonnement solaire ont été considérés.

	LUMINANCE MOYENNE (Kcd/m2)			RADIANCE SOLAIRE MOYENNE (W/m2)		
	21-juin	21-déc	21-mars	21-juin	21-déc	21-mars
5h	68.972875	0	0	405.987091	0	0
6h	1163.68413	0	9.31712793	7221.13135	0	1502.40955
7h	978.623	11.3802588	162.5155	6425.66406	107.680153	1502.40955
8h	534.9115	132.162625	104.350117	3716.20264	1225.82568	943.997986
9h	878.383938	120.759844	97.6609922	6428.30762	1101.70142	867.508667
10h	835.293375	110.503156	69.2282422	6380.92481	995.935547	606.528442
11h	783.950313	108.165766	56.3826875	6167.18945	967.928833	489.771179
12h	739.08575	122.803633	73.4519844	5887.44336	1097.00293	636.193604
13h	490.77775	85.1133359	81.3328281	3886.69043	763.172241	706.501892
14h	839.803563	113.478586	70.3072813	6496.38281	1026.75647	615.982239
15h	739.821938	148.997969	109.649336	5507.30078	1366.95142	973.999451
16h	811.177313	126.920945	105.453039	5748.41602	1185.44885	953.975525
17h	912.325875	0	155.027688	6117.0044	0	1433.18689
18h	572.977875	0	9.53285449	3629.07617	0	90.251183
19h	216.877391	0	0	1300.7229	0	0

Tableau 6.5. Les luminances et les radiances solaires moyennes en provenance de ciel pour l'enveloppe du projet cas d'étude calculé par *Solene*

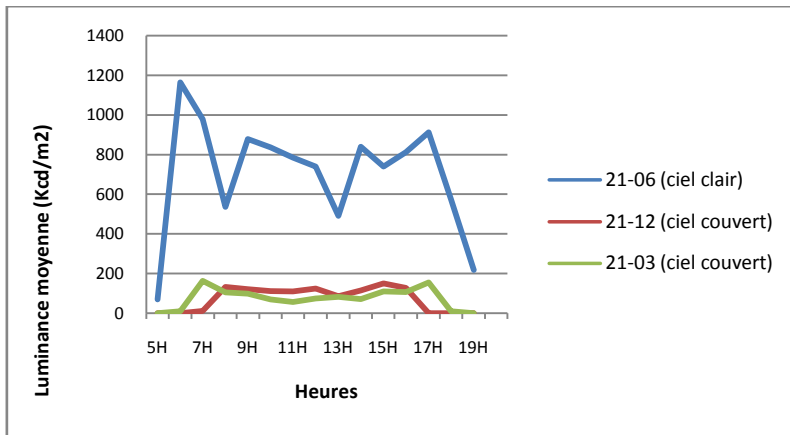
Source : Auteur.

Résultats :

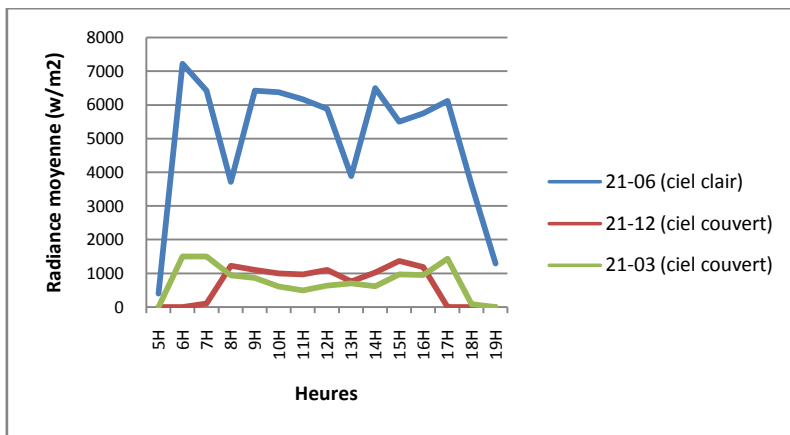
VI.3.2.2.1. L'énergie solaire globale⁴ :

Les résultats présentés dans le graphe 6.4 montrent que les moyennes mensuelles de l'énergie solaire ne sont pas maximales durant les mois d'été. Pendant cette saison, les gains d'énergie ne dépassent pas les 106 KWh/m² par mois. Durant les deux mois d'Avril et d'Octobre, les valeurs de l'énergie solaire calculées sont importantes, elles sont de l'ordre de 120 KWh/m². Quant en Mai, l'enveloppe reçoit la quantité maximale d'énergie solaire (environ 142 KWh/m²). Cependant, les autres mois enregistrent les quantités minimales qui ne dépassent pas les 77 KWh/m² chaque mois. Dans l'absence des statistiques d'estimation de la consommation énergétique dans la région d'étude, on ne peut jamais se faire une idée sur la suffisance ou l'insuffisance de la quantité annuelle d'énergie collectée par rapport à celle consommée. La seule information qu'on est capable de fournir à ce stade, c'est que chaque mètre carré de l'enveloppe de la forme urbaine étudiée est susceptible de recueillir –en moyenne- environ 1170 KWh d'énergie chaque année.

⁴ Le calcul de l'énergie solaire annuelle est présenté dans l'annexe 3 sur le CD Rom sous forme de fichier Excel.



Graphe 6.2. Luminance moyenne en provenance du ciel pour les deux types de ciel choisis et durant les solstices d'été, d'hiver et de printemps calculé par Solene



Graphe.6.3. Radiancie solaire moyenne en provenance du ciel pour les deux types de ciel choisis et durant les solstices d'été, d'hiver et de printemps calculé par Solene

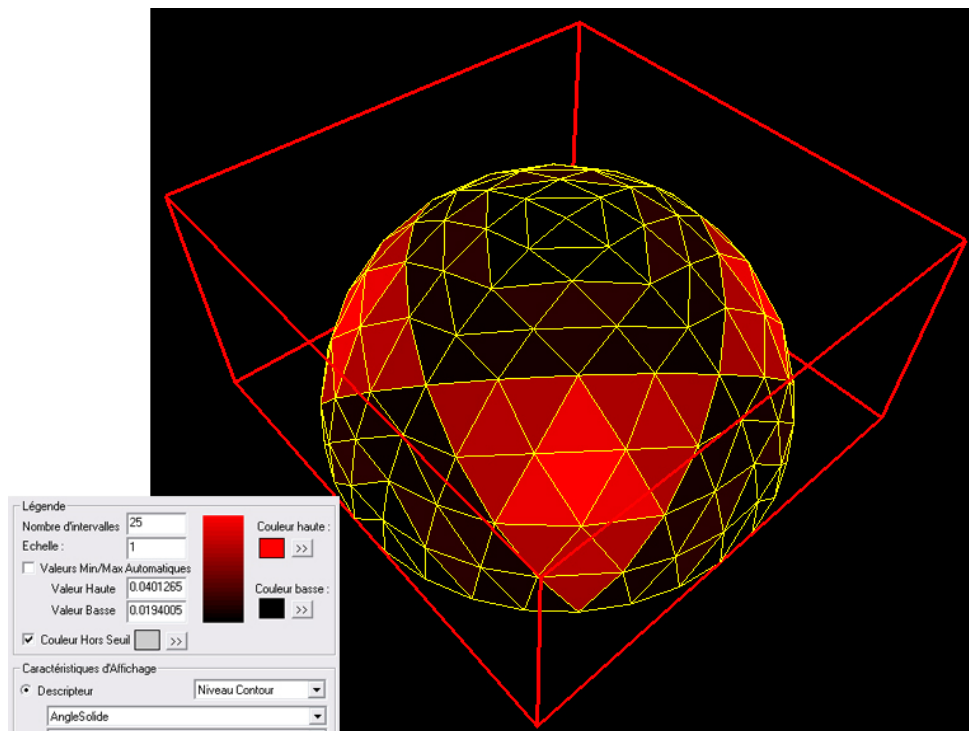
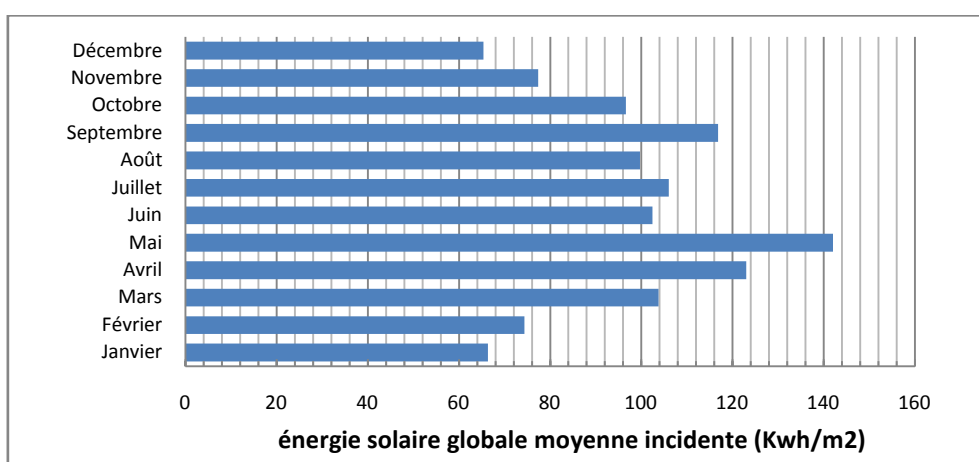


Figure 6.10. Calcul de l'angle solide sur une géométrie ciel de type claire durant le solstice d'été, calculé par Solene

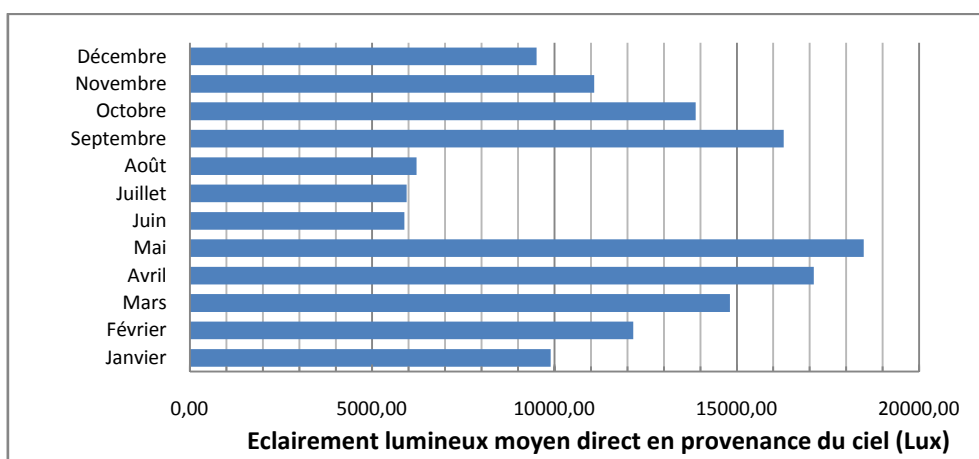
Source des schémas 6.2 ; 6.3 et la figure 6.10: Auteur

VI.3.2.2.2. L'éclairage lumineux⁵

Il est clair des résultats de l'éclairage lumineux annuel (le graphe 6.5), que les mois d'été collectent la quantité minimale d'éclairage lumineux avec une valeur d'environ 6Klux. Cela est peut être dû à la quantité minimale de la composante réfléchiée de l'éclairage dans un ciel dégagé par rapport à celle reçue sur un ciel clair couvert qui caractérise les autres mois de l'année sur le site d'étude. En revanche, cette valeur atteint 9,5Klux en Décembre et Janvier et varie respectivement de 11 à 12Klux en Novembre et Février. Le mois de Mai présente la valeur maximale de 18,5Klux. L'éclairage lumineux moyen dans les autres mois varie de 14 à 17Klux



Graphe.6.4. Les moyennes mensuelles d'énergie solaire globale incidente sur l'enveloppe de la géométrie.



Graphe.6.5. Les moyennes mensuelles d'éclairage lumineux direct en provenance du ciel.

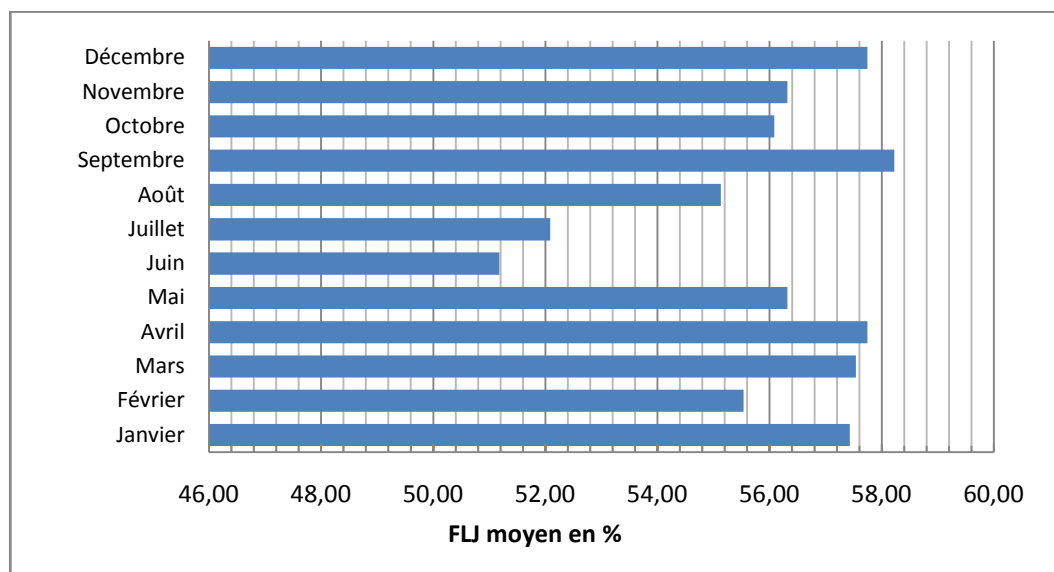
⁵ Le calcul d'éclairage lumineux annuel est présenté dans l'annexe 3 sur le CD Rom sous forme de fichier Excel.

VI.3.2.2.3. Le facteur de lumière du jour⁶

Le facteur de lumière du jour est employé pour évaluer le potentiel d'une forme urbaine à l'absence des données climatiques. Ce paramètre permet une auto évaluation de la forme urbaine d'une manière indépendante du contexte géographique spécifique.

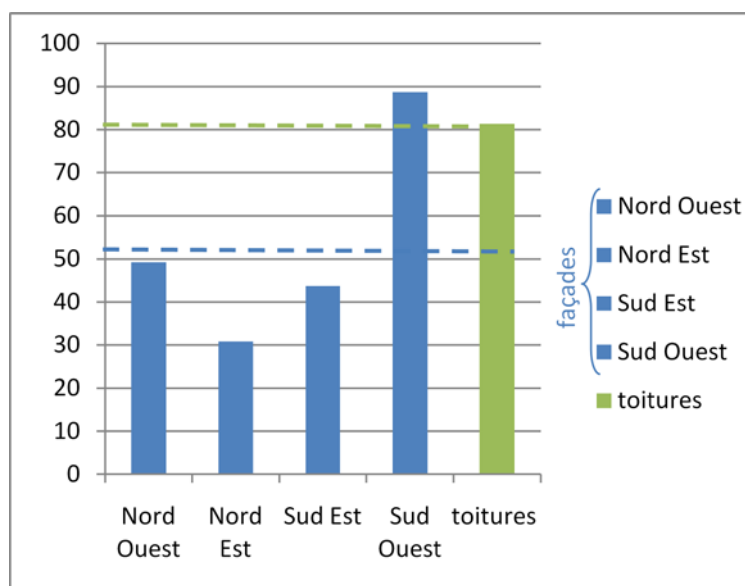
Le facteur de lumière du jour extérieur calculé pour notre forme (graphe 6.6) prend sa valeur maximale qui dépasse les 57% pour les mois de janvier, Mars, Avril, Septembre et Décembre. Cette valeur est suivie par celles des mois de Mai, Octobre, Novembre, Août et Février avec une diminution marginale de 2% maximum. Pour les mois de Juin et Juillet, le facteur de lumière de jour se limite respectivement aux valeurs de 51,18 et 52,09%.

Le facteur de lumière de jour sur les façades verticales de la forme étudiée atteint sa valeur maximale pour celles orientées Sud-ouest de 88,69% (voir le graphe 6.7). Les façades orientées Nord-ouest ne voient que 44% de la totalité de la voute céleste, quant à celles orientées Sud-est et nord-est diffèrent entre 30,8% et 43,7%. Les toitures de la forme étudiée présentent la valeur 81,30% du facteur de lumière de jour.



Graphe 6.6. Valeurs moyennes mensuelles des facteurs de lumière du jour extérieur que représente la forme urbaine calculées par Solene.

⁶ Le calcul des facteurs de lumière de jour est présenté dans l'annexe 3 sur le CD Rom sous forme de fichier Excel.



Graphe 6.7. Les moyennes annuelles des facteurs de lumière du jour extérieurs pour les toitures et les façades calculé par Solene.

VI.3.2.3. Calcul de viabilité de la forme urbaine :

Afin de fournir une évaluation globale du potentiel solaire, et pour obtenir une image représentative de la disponibilité d'énergie solaire et de lumière du jour sur la géométrie étudiée, on a calculé les séries d'énergie solaire globale (en KWh/m²) et de l'éclairement lumineux (en Lux) reçues sur toute une grille de triangles qui composent la forme urbaine. Il est important de préciser aussi, que chaque triangle représente une surface de 0 à 10 m² de l'enveloppe. Les surfaces des façades et celles des toitures peuvent être séparées à ce stade. Une sélection de *triangles* qui ont une valeur similaire ou supérieure à la valeur *seuil* a été effectuée à l'aide du programme Excel. Afin de définir le pourcentage de viabilité, on additionnera les valeurs de surfaces de l'ensemble de triangles reportés. Les résultats sont présentés en deux façons :

1. Numériques : sous forme de tableaux qui illustrent les résultats numérique des simulations. Notons que le grand nombre de valeurs produites des irradiances solaires et des éclairagements lumineux nous ont empêchées de présenter les résultats de tous les fragments (triangles). Néanmoins, tous les résultats peuvent être consultés sur les annexes sous forme de fichiers Excel sur le CD Rom.
2. Graphiques : En utilisant une technique d'affichage dans *Solene*, de sorte que seulement les Pixel dépassant une valeur minimale donnée soient colorés, des surfaces de

l'enveloppe de bâtiment qui sont viables pour une technologie solaire donnée peuvent être visuellement identifiées d'une sorte qu'on peut s'assurer que les installations répondent correctement à l'énergie disponible.

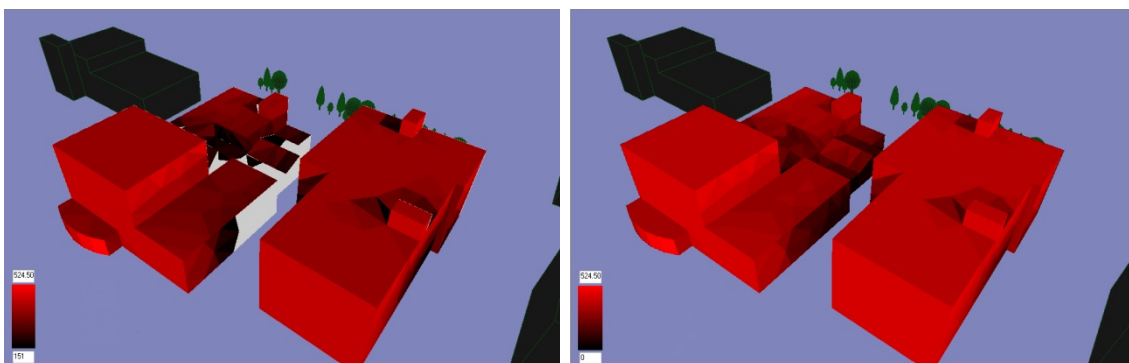
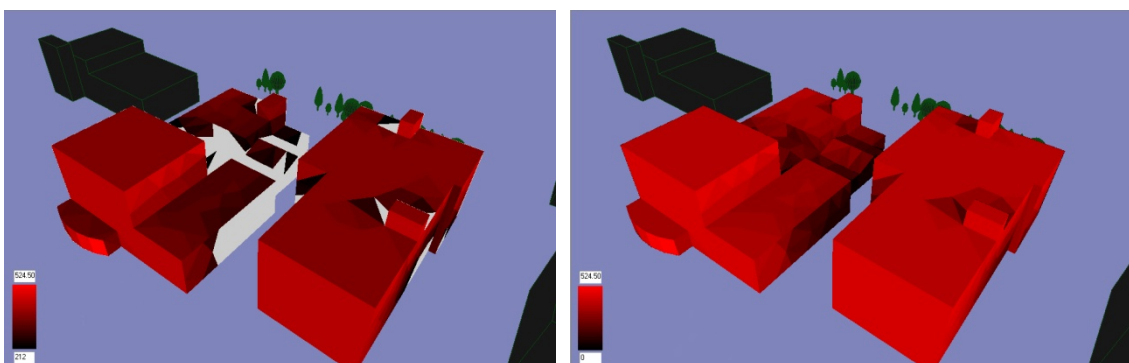
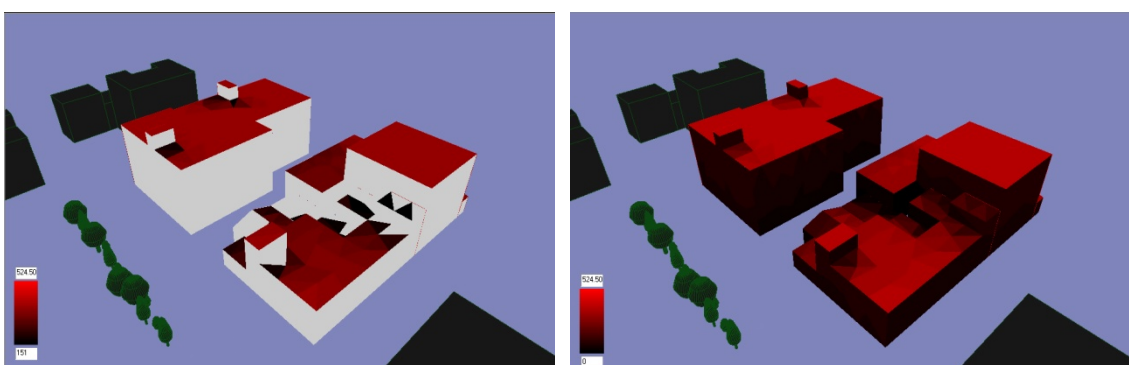
Il est difficile d'offrir une image globale en tenant compte seulement des seuils, chaque bâtiment est unique et a ses propres comportements. Une façade particulière apparaîtra d'une certaine manière avec un seuil particulier et pour un cas spécifique. On peut seulement modifier un paramètre afin de changer cette image.

Présentation des résultats :

VI.3.2.3.1. Viabilité des techniques solaires passives :

	surface totale (m ²)	Surface atteint seuil (m ²)	Viabilité solaire passive (%) -hiver-
Seuil=212 kWh/m ²	3522.48	1326.21	37.65
Seuil=151 kWh/m ²	3522.48	1468.74	41.70

Tableau 6.6 : calcul d'indicateur de performance solaire « techniques solaires passives ».

Figure 6.11 : vues du Sud appliquant un filtre de 151 kWh/m².an pour les façadesFigure 6.12 : vues du Sud appliquant un filtre de 212 kWh/m².an pour les façadesFigure 6.13 : vues du Nord appliquant un filtre de 151 kWh/m².an pour les façades

Figures de 6.11 à 6.13 : gains durant les mois d'hiver d'énergie solaire globale avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'utilisation des techniques solaires passives.

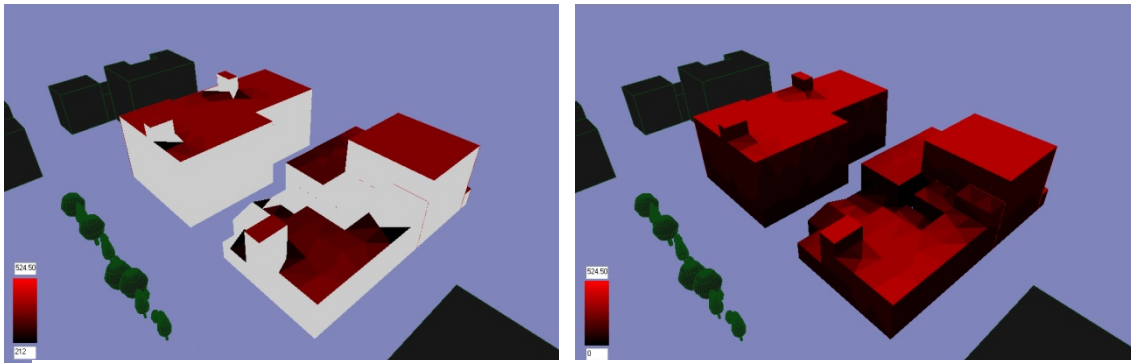


Figure 6.14 : vues du Nord appliquant un filtre de 212 kWh/m2.an pour les façades

Figures 6.14 : gains durant les mois d'hiver d'énergie solaire globale avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'utilisation des techniques solaires passives.

VI.3.2.3.2. Viabilité des systèmes de lumière du jour :

	surface totale (m2)	Surface atteint seuil (m2)	Viabilité de lumière de jour (%)
annuelle	3522.48	1349.32	38.31
hiver	3522.48	1275.18	36.20

Tableau 6.7. Calcul d'indicateur de performance solaire « techniques de lumière de jour ».

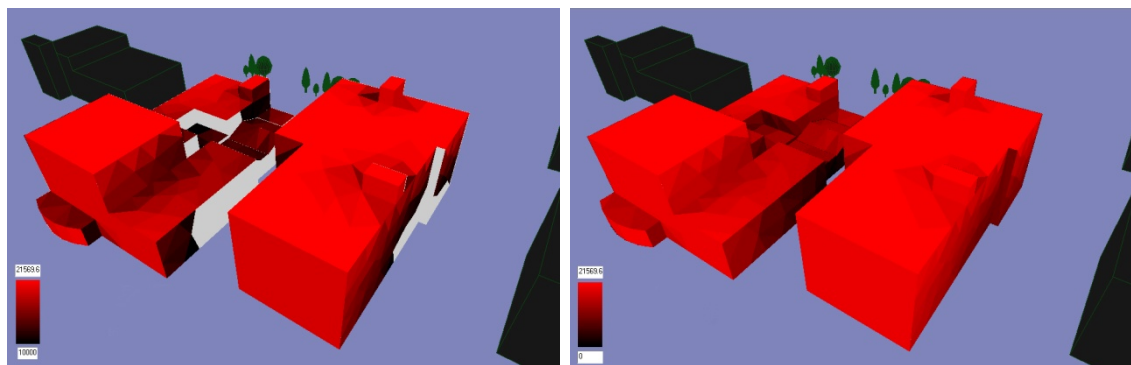


Figure 6.15 : vues du Sud appliquant un filtre de 10 000 Lux pour les façades (résultats annuels)

Figures 6.15 : gains annuels d'éclairage lumineux avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'intégration des systèmes de lumière de jour.

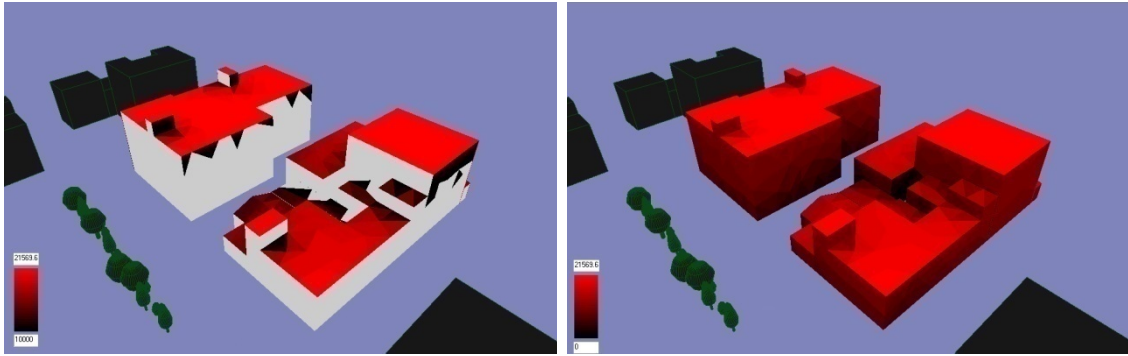


Figure 6.16 : vues du Nord appliquant un filtre de 10 000 Lux pour les façades (résultats annuels)

Figures 6.16 : gains annuels d'éclairage lumineux avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'intégration des systèmes de lumière de jour.

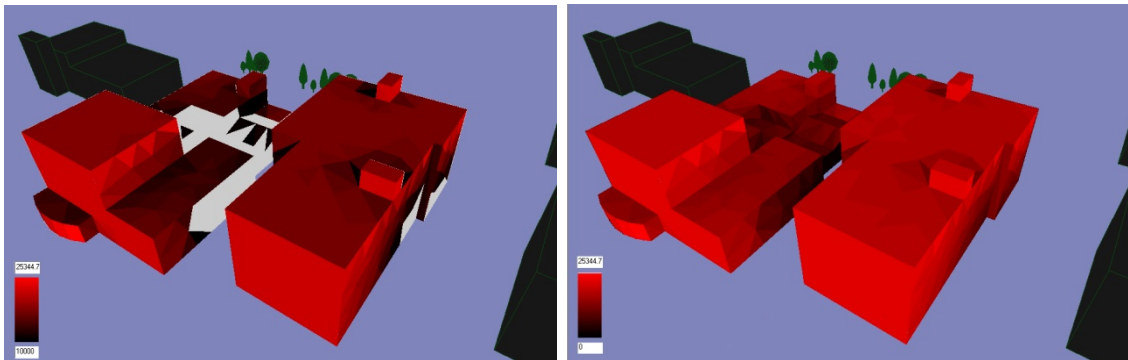


Figure 6.17 : vues du Sud appliquant un filtre de 10 000 Lux pour les façades (résultats en mois)

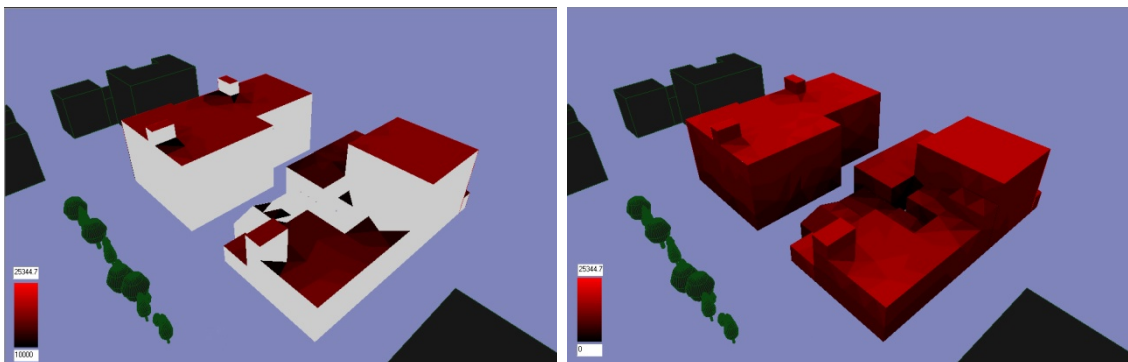


Figure 6.18 : vues du Nord appliquant un filtre de 10 000 Lux pour les façades (résultats en mois d'hiver)

Figures 6.17 ; 6.18 : gains durant les mois d'hiver d'éclairage lumineux avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'intégration des systèmes de lumière de jour.

VI.3.2.3.3. Viabilité des systèmes PV sur les bâtiments:

		surface totale (m2)	Surface atteint seuil (m2)	Viabilité solaire photovoltaïque (%)
annuelle	Toitures	1678.23	1648.84	98.25
	façades	3522.48	1463.22	41.54
	enveloppe	5200.71	3112.07	59.84

Tableau 6.8. Calcul d'indicateur de performance solaire « systèmes solaires photovoltaïques ».

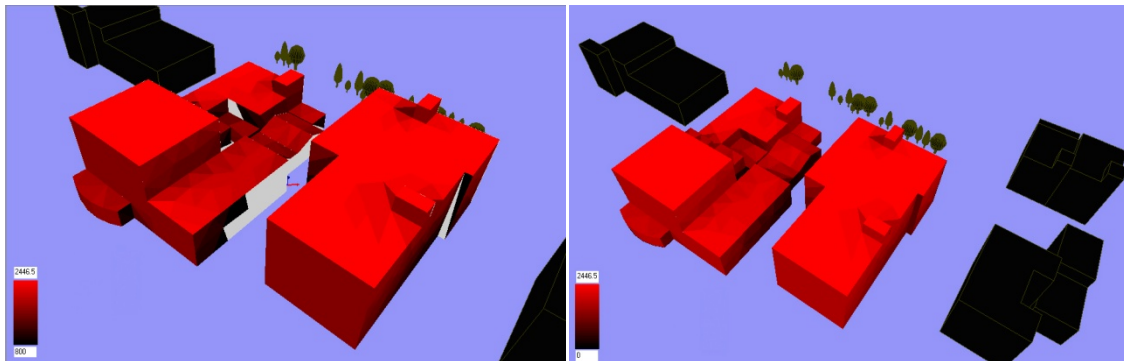


Figure 6.19 : vues du Sud appliquant un filtre de 800 kWh/m2.an pour les façades

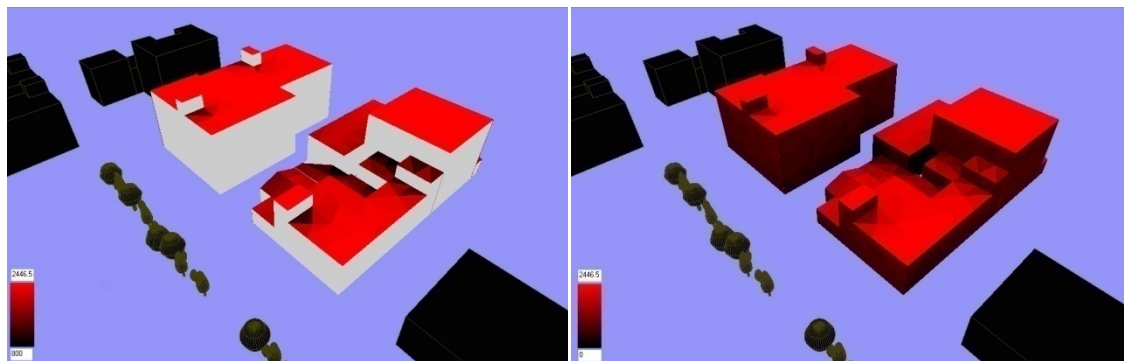


Figure 6.20 : vues du Nord appliquant un filtre de 800 kWh/m2.an pour les façades

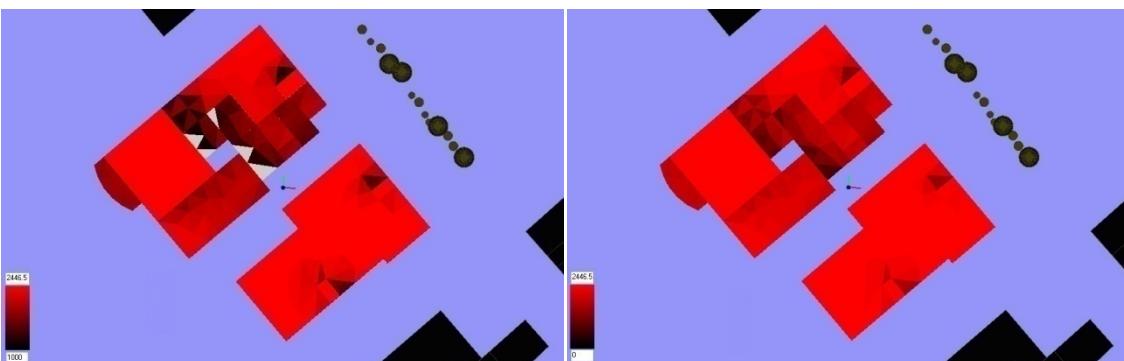


Figure 6.21 : vues de dessus appliquant un filtre de 1000 kWh/m2.an pour les toitures

Figures de 6.19 à 6.21: gains d'énergie solaire globale avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'intégration des systèmes solaires photovoltaïques.

VI.3.2.3.4. Viabilité des collecteurs solaires actifs :

		surface totale (m2)	Surface atteint seuil (m2)	Viabilité solaire active (%)
annuelle	Toitures	1678.23	1678.22	100.00
	façades	3522.48	3101.69	88.05
	enveloppe	5200.71	4779.91	91.91

Tableau 6.9. Calcul d'indicateur de performance solaire « collecteurs solaires actifs ».

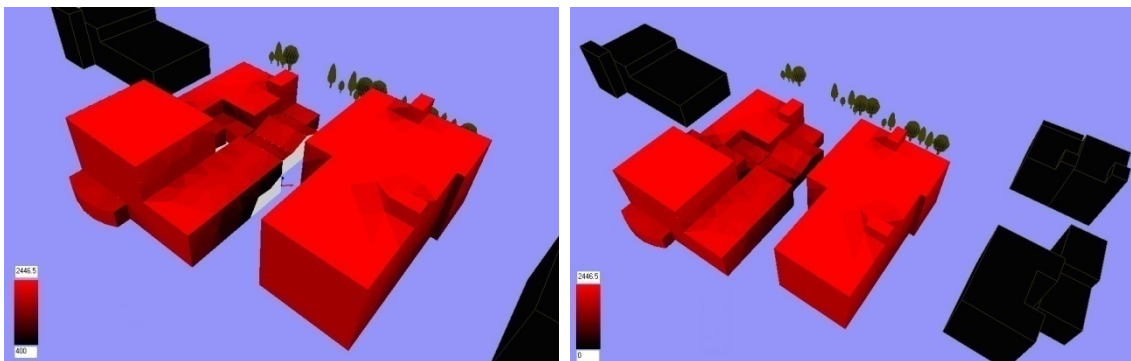


Figure 6.22 : vues du Sud appliquant un filtre de 400 kWh/m2.an pour les façades

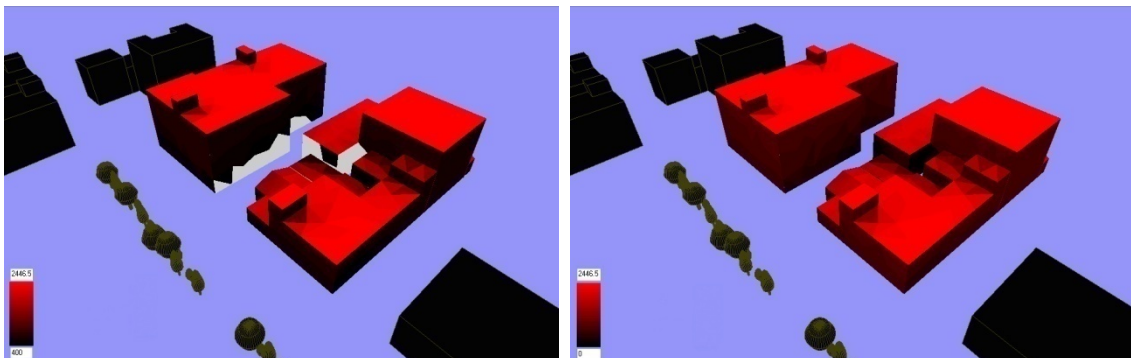


Figure 6.23 : vues du Nord appliquant un filtre de 400 kWh/m2.an pour les façades

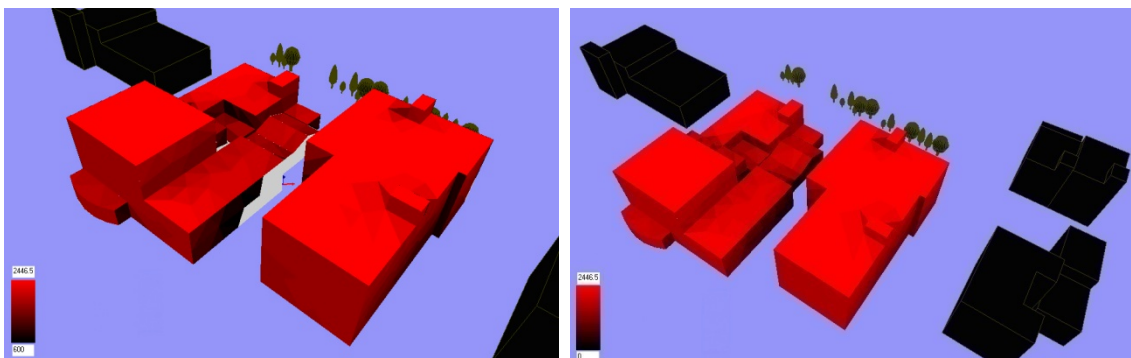


Figure 6.24 : vues du Sud appliquant un filtre de 600 kWh/m2.an pour les toitures

Figures de 6.22 à 6.24 : gains d'énergie solaire globale avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'intégration des collecteurs solaires actifs.

VI.3.2.3.5. Discussion des résultats:

Pendant la saison d'hiver, les gains solaires passifs sont situés la plupart du temps sur les façades du Sud-ouest de la forme (voir les figures de 6.11 à 6.14). Cependant, il y a une légère diminution des gains solaires passifs aux faces orientées Sud-est au niveau du rez-de-chaussée du bloc A⁷. Avec les deux seuils de 151 et 212 kWh/m².an, toutes les faces de la géométrie orientées Nord-est et Nord-ouest ainsi que celles du bloc B orientées Sud-est qui couvrent une surface dépassant les 2000 m² (environ 60% de la surface totale de l'enveloppe), ne peuvent jamais profiter des gains solaires passifs.

Un même comportement de la forme est enregistré envers la lumière du jour (voir les figures de 6.15 à 6.18). Les faces de la forme orientées Nord-est et Nord-ouest et celles du bloc B orientées Sud-est (environ 60% de la surface totale de l'enveloppe) n'atteint jamais le seuil de 10 000Lux. Autrement dit, l'éclairage du plan de travail à l'intérieur des locaux qui s'ouvrent vers ces orientations, n'arrive guère à 500 lux, ce qui pose un sérieux problème sachant bien que les bureaux de travaux généraux, les salles de dactylographie et les salles de dessin (les fonctions administratifs en général) demandent un éclairage moyen de 425 à 850 Lux. (Liébard, A. et De Hherde, A, 2005 dans Ben cheikh, A, 2007)

En ce qui concerne le photovoltaïque sur les façades (voir les figures de 6.19 à 6.21), 41% de la surface totale étant approprié pour l'usage de cette technologie. La majeure portion de cette surface fait partie des faces de Sud-ouest et de Sud-est de l'enveloppe. Les autres faces dans les deux autres orientations qui constituent environs 59% de la surface des façades ne peuvent pas être utilisées dans la production locale d'électricité employée généralement pour l'éclairage et les petites demandes d'électricité. En opposition, 98,25% de la surface totale des toitures conviennent parfaitement à la production photovoltaïque.

Les figures de 6.22 à 6.24 montrent que 80% de la surface totale des façades reçoit plus de 400KWh/m².an. Seules quelques parties sur les faces Sud-est du bloc B et la partie du rez-de-chaussée de la face orientée vers le Nord-ouest du bloc A qui ne semblent pas appropriées aux collecteurs solaires thermiques. L'ensemble des toitures semble approprié pour l'usage des techniques solaires actives.

⁷ Bloc A : le bloc qui apparie en bas dans les vues de sud.

VI.4. CONCLUSION :

Ce chapitre concerne l'étude des performances solaire globale de la forme urbaine choisie, située dans le quartier administratif de la ville de Batna et présente les caractères solaires à évaluer, ainsi que la définition de leurs *valeurs seuil* (les valeurs minimales d'efficacité).

En utilisant un nombre de 2544 degré-jour pour une saison de chauffage, un seuil de 212 KWh/m² pour les gains solaires passifs était déterminé (c'est l'irradiation d'hiver à laquelle les gains solaires dépassent les pertes de chaleur dans la région étudiée). Pour assurer un éclairage du plan de travail à l'intérieur des bâtiments égal à 500Lux, et pour un coefficient d'utilisation de 0,05, un éclairage extérieur sur les façades de 10 000Lux apparaît comme valeur minimale exigée (c'est la quantité de la lumière du jour suffisante pour compenser le besoin de lumière électrique). Pour les collecteurs solaires thermiques, les valeurs supérieures à 400 et 600KWh/m² était appliquées respectivement pour les façades et les toitures. Les valeurs limites utilisées dans cette recherche sont issues de travaux de R. Compagnon (*Compagnon, 2000,2004*) qui a pu modéliser effectivement l'efficacité solaire et lumineuse de configurations urbaines diverses.

L'évaluation finale du potentiel solaire du cas d'étude illustrés dans le tableau 6.10 indique qu'avec une densité de 0,686 que représente la géométrie du cas d'étude, seulement 38% des façades conviennent aux techniques de lumière de jour. Les gains solaires pendant l'hiver sont plutôt bas dont la valeur se limite à 37,65% avec un seuil de 212 KWh/m² et à 41,7% pour la valeur de seuil de 151 KWh/m². Cependant, 41,54% de la surface totale des façades peuvent être utilisées dans la production d'électricité photovoltaïque (sans tenir compte des ouvertures qui diminuent cette surface). Cette valeur augmente jusqu'à 98,25% pour les toits. En ce qui concerne les collecteurs thermiques solaires, 88.05% des façades et toutes les surfaces des toits conviennent à la production solaire d'eau chaude.

En plus de l'évaluation numérique, des vues de la géométrie étudiée ont été produites par des techniques de visualisation impliquant le rendu de couleur 3D pour rendre visible les surfaces appropriées aux technologies solaire d'une sorte qu'on peut s'assurer que les installations répondent correctement à l'énergie disponible.

		Viabilité de lumière de jour (%)	Viabilité solaire passive (%)		Viabilité solaire active (%)	Viabilité solaire photovoltaïque (%)
			$\eta = 0,5$	$\eta = 0,7$		
façades	annuelle	38,31	/	/	88,05	41,54
	hiver	36,20	37,65	41,70	/	/
toiture annuelle		/	/	/	100	98,25
géométrie annuelle		/	/	/	91,91	59,84

Tableau 6.10. Résultats en pourcentage des surfaces de l'enveloppe du cas d'étude disponibles pour l'exploitation d'énergie solaire.

Une partie importante de la forme étudiée ne tire pas bénéfice des irradiations et des éclairagements solaires moyens annuels qui sont techniquement et économiquement appropriées pour des technologies solaires. Cependant, l'évaluation relative aux façades et toitures appropriés, basée sur les quantités minimales exigées d'irradiation et d'éclairage, prouve qu'une partie très significative de l'enveloppe demeure appropriée pour des opérations solaires de technologie, en dépit du caractère urbain de l'emplacement.

A l'exception du solaire actif, Ces résultats sont plutôt insuffisants, et peuvent être expliqués par : la quantité insuffisante des rayons du soleil à la zone d'étude, la présence des ombres (masques solaires), les orientations inadéquates des façades et surtout par l'impact de la forme des bâtiments qui a créé entre les deux blocs, un espace plutôt sombre. Dans la partie qui suit, on passe à l'essai expérimental des impacts de chaque cause citée précédemment. Cela va nous permettre d'abord de vérifier notre hypothèse, ensuite, d'arriver peut être à des recommandations qui vont nous aider à améliorer le rendement du potentiel solaire de la forme urbaine.

Chapitre 07,

Optimisation de la forme urbaine

Du cas d'étude

VII.1. INTRODUCTION :

Après avoir évalué la forme urbaine du cas d'étude, cette partie de recherche vise la vérification de notre hypothèse sur le terrain. Autrement dit, une observation des effets de la forme urbaine sur le revenu de l'énergie solaire et de la qualité lumineuse de l'environnement intérieur. Le présent chapitre s'intéressera également à l'examinations des effets relatifs aux changements de paramètres de la forme, supposés avoir un impact considérable sur les gains solaires, à savoir :

- L'effet de la forme des bâtiments et de la densité ;
- L'effet de l'inclinaison et de l'orientation des toitures.
- L'effet de l'orientation des rues (exposition des façades);
- Et enfin, l'effet du rapport de la hauteur des bâtiments à la largeur des rues ;

Il s'agit d'effectuer plusieurs simulations dans le but d'accueillir les résultats qui vont servir la détermination, parmi toutes les forme étudiées, celle qui présente des valeurs maximales des indicateurs de performance solaire. La discussion des résultats obtenus sera conclue par quelques recommandations destinées aux architectes, urbanistes et planificateurs urbains afin de les aider à une meilleure maîtrise de la forme urbaine conduisant à extrémiser les apports solaire et respecter les principes du développement durable.

VII.2. PROCEDURE D'OPTIMISATION DE LA FORME URBAINE DU CAS D'ETUDE :

Pour une analyse plus approfondie, le présent chapitre va exercer une enquête comparative entre la forme initiale du cas d'étude et différentes formes hypothétiques inspirées de la recherche théorique. Pour cette raison, toutes les formes sélectionnées seront intégrées dans le site du quartier administratif. Les données météorologiques et celles du lieu géographique ainsi que les caractéristiques des matériaux utilisés dans les différentes simulations seront identiques pour toutes les formes urbaines. Ce sont les données appropriées à la forme initiale du cas d'étude présentées dans le chapitre précédent (Cf. §VI.2). La procédure d'optimisation de chaque caractéristique de la forme urbaine et la description des districts urbains, et des paramètres d'évaluation choisis sont présentés dans le modèle d'analyse (cf. § IV.4.2). Dans ce qui suit, on va afficher et discuter les résultats obtenus en concluant notre discussion par quelques recommandations.

VII.2.1. Effet de la forme et de la densité de bâtiments :

VII.2.1.1. Présentation des résultats :

VII.2.1.1.1. Viabilité des techniques solaires passives pour la forme en pavillons:

	surface totale des façades (m ²)	Surface atteint seuil (m ²)	Viabilité solaire passive (%) -hiver-
Seuil=212 kWh/m ²	3354.0	1484.74	44.27
Seuil=151 kWh/m ²	3354.0	1615.20	48.16

Tableau 7.1. Viabilité des techniques solaires passives pour la forme en pavillons.

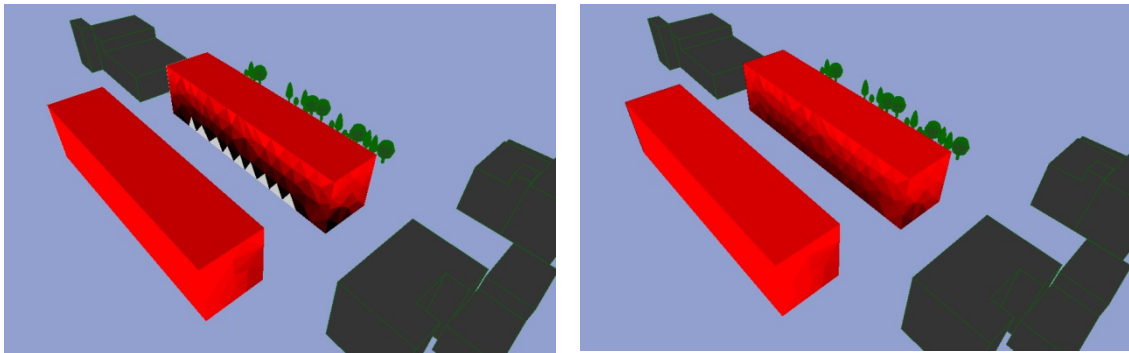


Figure 7. 1 : vues du Sud appliquant un filtre de 151 kWh/m².an pour les façades

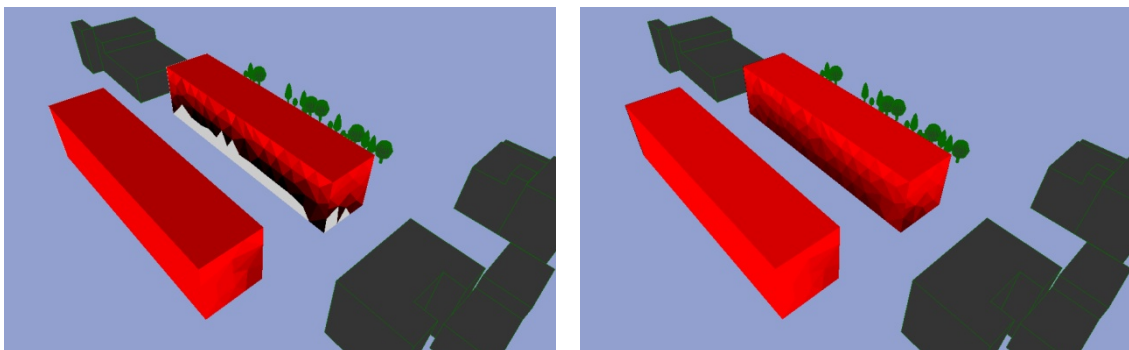


Figure 7. 2 : vues du Sud appliquant un filtre de 212 kWh/m².an pour les façades

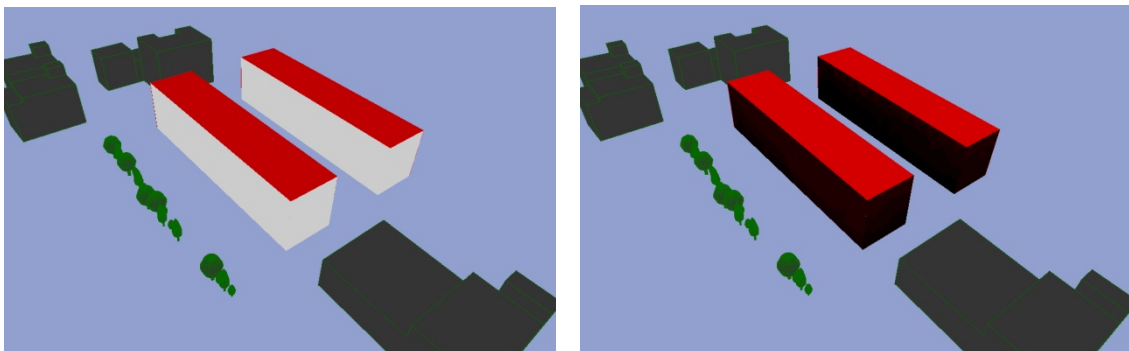


Figure 7. 3 : vues du Nord appliquant un filtre de 151 kWh/m².an pour les façades

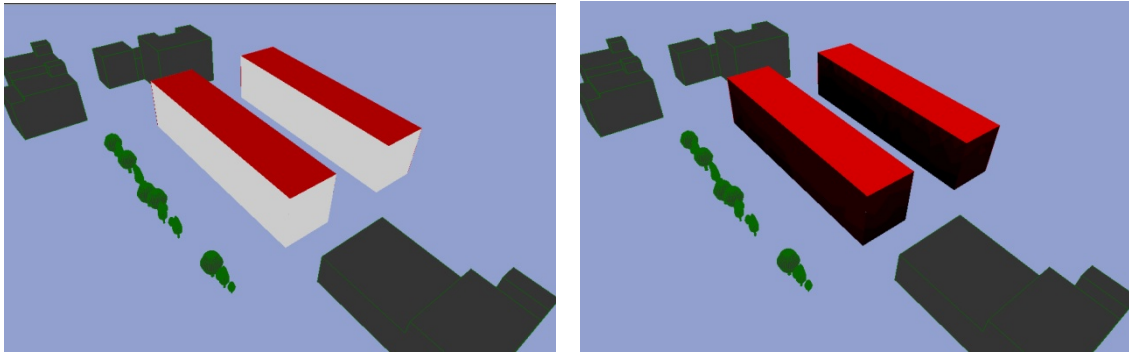


Figure 7.4 : vues du Nord appliquant un filtre de 212 kWh/m2.an pour les façades

Figures de 7.1 à 7.4. Forme urbaine en pavillons : Les gains d'énergie solaire globale durant les mois d'hiver avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'utilisation des techniques solaires passives.

VII.2.1.1.2. Viabilité des techniques solaires passives pour la forme en cour:

	surface totale des façades (m2)	Surface atteint seuil (m2)	Viabilité solaire passive (%) -hiver-
Seuil=212 kWh/m ²	3915.86	1534.38	39.18
Seuil=151 kWh/m ²	3915.86	1612.59	41.18

Tableau 7.2. Viabilité des techniques solaires passives pour la forme en cour.

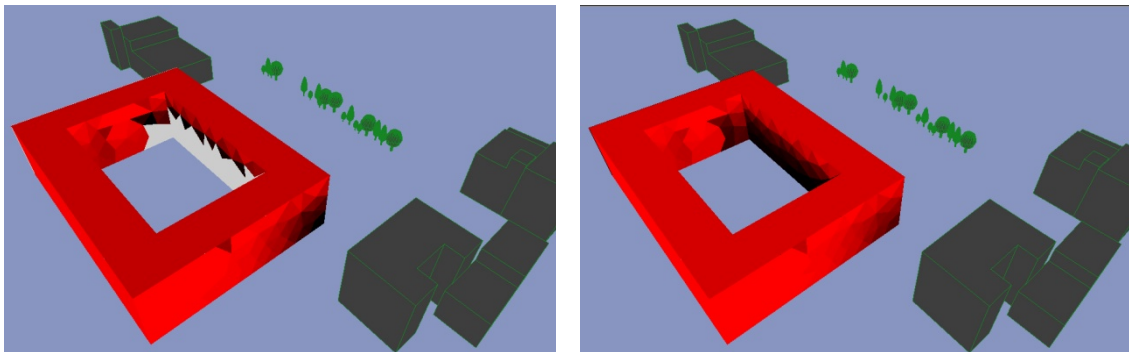


Figure 7.5 : vues du Sud appliquant un filtre de 151 kWh/m2.an pour les façades

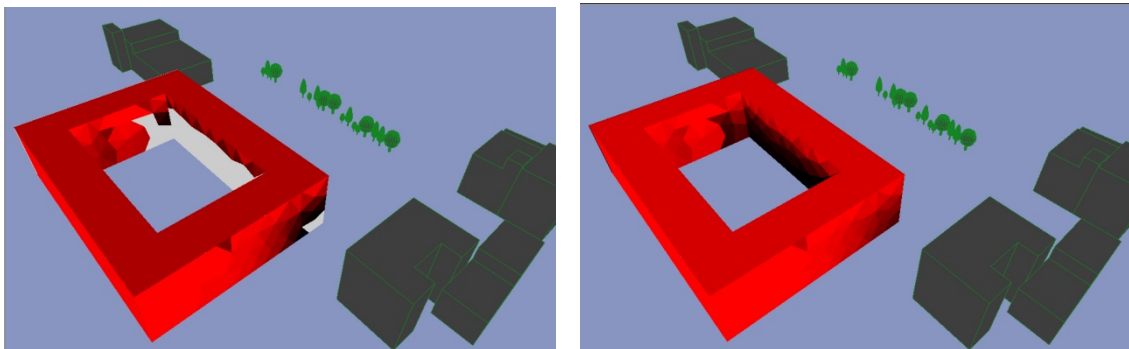


Figure 7.6 : vues du Sud appliquant un filtre de 212 kWh/m2.an pour les façades

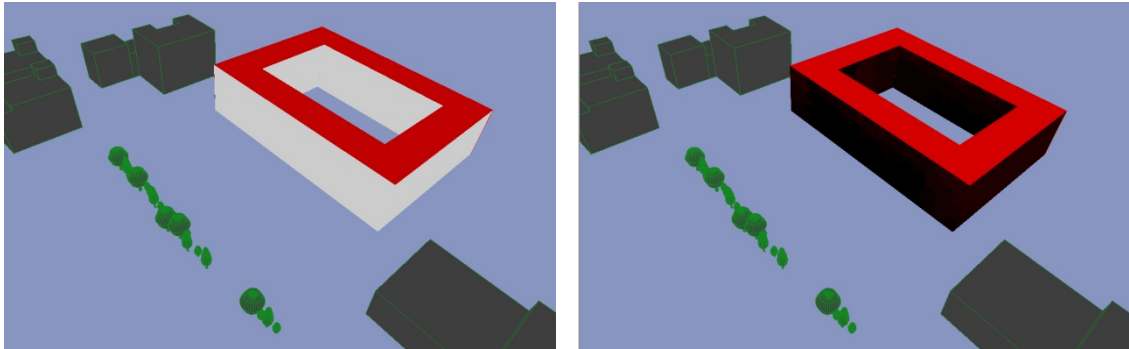


Figure 7.7 : vues du Nord appliquant un filtre de 151 kWh/m2.an pour les façades

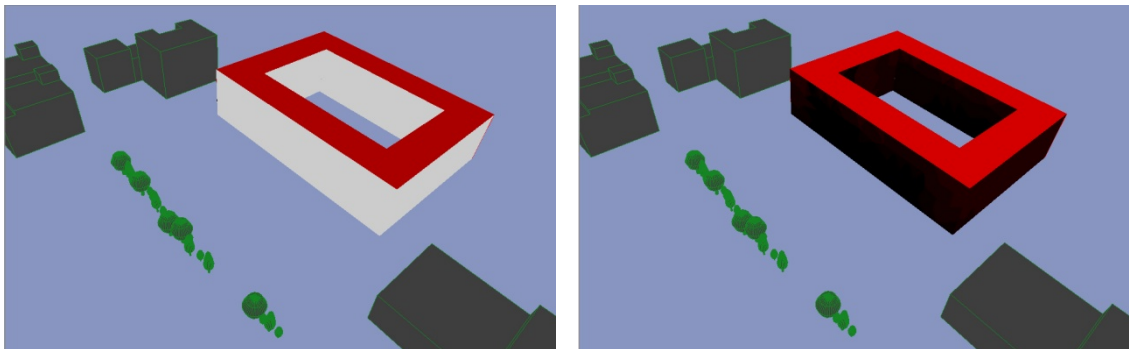


Figure 7.8 : vues du Nord appliquant un filtre de 212 kWh/m2.an pour les façades

Figures de 7.5 à 7.8. Forme urbaine en cour : Les gains d'énergie solaire globale durant les mois d'hiver avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'utilisation des techniques solaires passives.

VII.2.1.1.3. Viabilité des techniques solaires passives pour la forme en tours:

	surface totale des façades (m2)	Surface atteint seuil (m2)	Viabilité solaire passive (%) -hiver-
Seuil=212 KWh/m ²	5241.6	2607.25	49.74
Seuil=151 KWh/m ²	5241.6	2620.88	50.00

Tableau 7.3. Viabilité des techniques solaires passives pour la forme en cour.

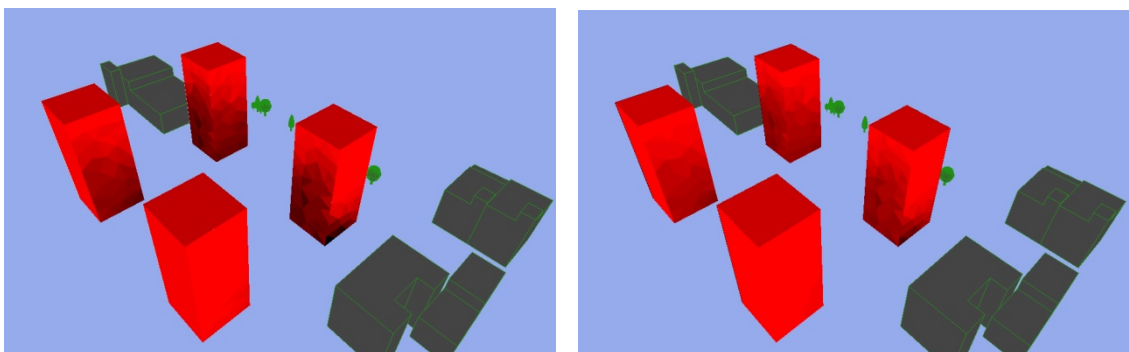


Figure 7.9 : vues du Sud appliquant un filtre de 151 kWh/m2.an pour les façades

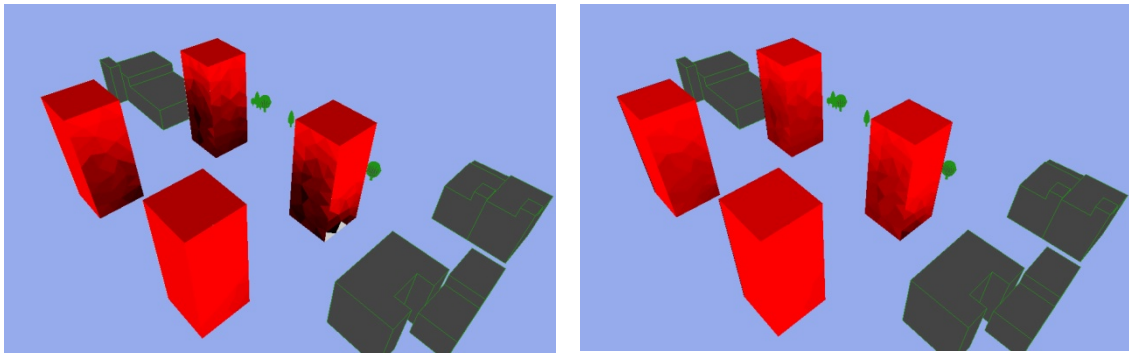


Figure 7. 10 : vues du Sud appliquant un filtre de 212 kWh/m2.an pour les façades

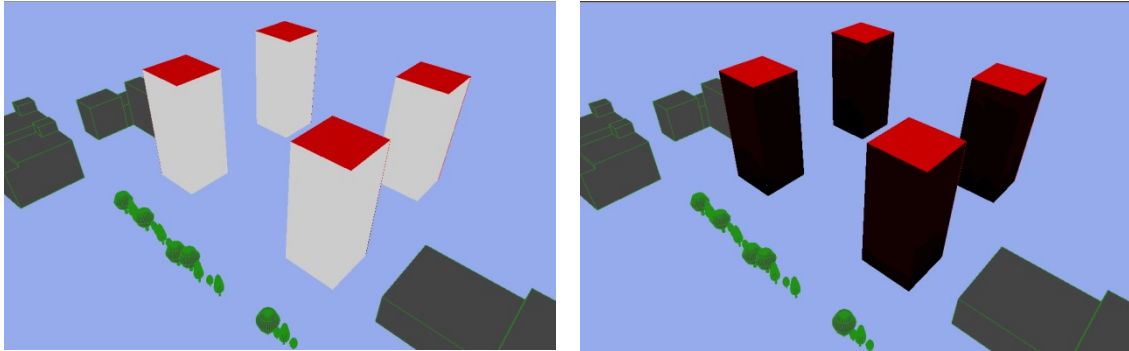


Figure 7. 11 : vues du Nord appliquant un filtre de 151 kWh/m2.an pour les façades

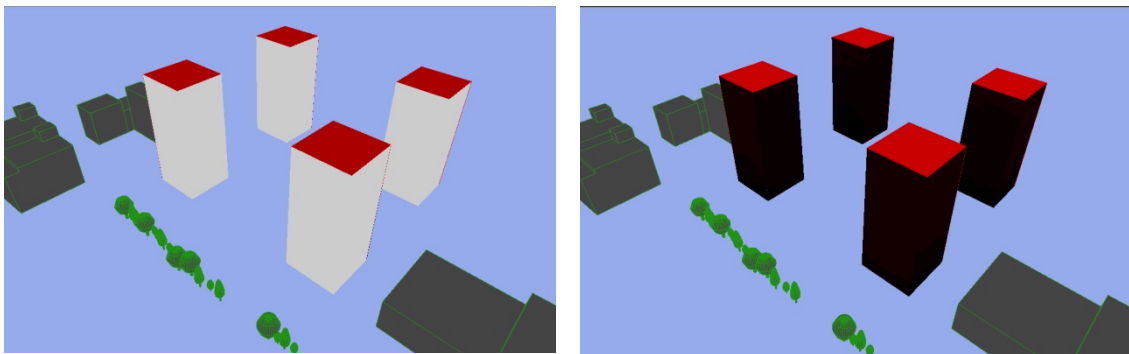
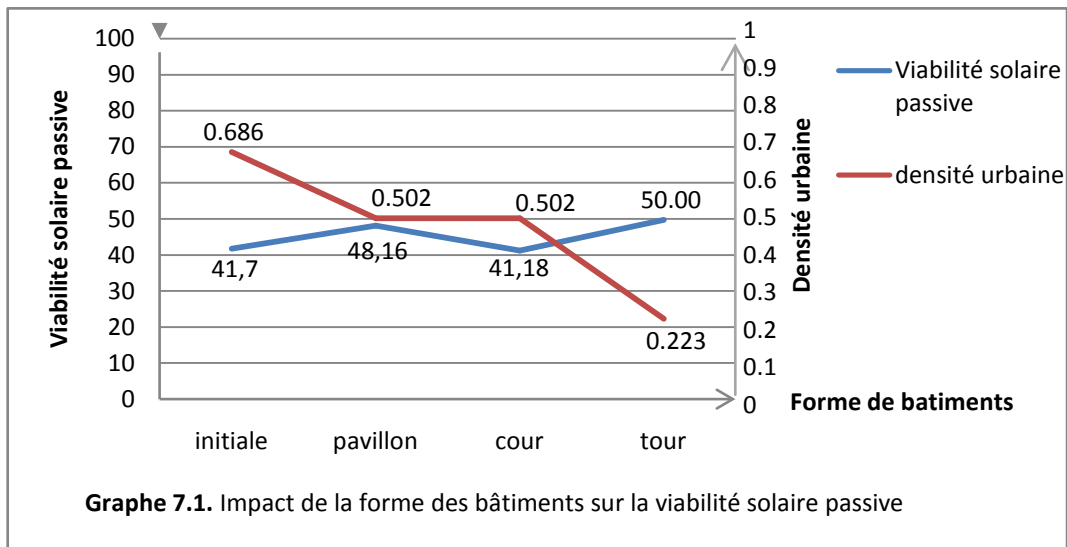


Figure 7.12 : vues du Nord appliquant un filtre de 212 kWh/m2.an pour les façades

Figures de 7.9 à 7.12. Forme urbaine en tours : Les gains d'énergie solaire globale durant les mois d'hiver avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour l'utilisation des techniques solaires passives.



VII.2.1.2. Discussion des résultats¹:

La comparaison de la viabilité solaire passive des façades calculée pour le district urbain existant et pour certaines formes urbaines hypothétiques présentées dans le tableau 4.3, montre que la forme urbaine composée de quatre bâtiments prenant la forme *tour* est la plus performante en terme de compensation des pertes de chaleur durant une saison de chauffage. La moitié de la surface totale des façades de cette forme reçoivent du soleil, une quantité de chaleur supérieure à 151Kwh/m^2 durant les mois d'hiver. Cette valeur est suivie par celle de la forme en *pavillons* avec un pourcentage de viabilité solaire passive arrivant jusqu'à 48%. Toutefois, plus de 60% de la surface totale des façades de la forme urbaine en *cour* ne reçoit pas la quantité d'énergie solaire qui peut équilibrer le bilan thermique des bâtiments en hiver. Cette valeur est même supérieure à celle calculée pour la forme du cas d'étude qui est de l'ordre de 58%.

On peut déduire aussi que pendant la saison d'hiver, les gains solaires passifs sont situés la plupart du temps sur les façades du sud-ouest et du sud-est dans tous les cas simulés (voir les figures 7.1- 7.2 ; 7.5-7.6 ; 7.9-7.10). Cependant, il y a une légère diminution de réaction du solaire passif aux faces orientées Sud-est au niveau du rez-de-chaussée dans les deux formes : en cour et en pavillon. Toutefois, toutes les faces nord-est et nord-ouest des géométries étudiées ne peuvent jamais rémunérer toutes les pertes de chaleur d'une manière passive (voir les figures 7.3- 7.4 ; 7.7- 7.8 ; 7.11- 7.12).

Le graphe 7.1 montre que la viabilité solaire passive est inversement proportionnelle à la densité urbaine. Le cas de la forme urbaine en *tours* qui possède un coefficient de densité de 0.22 (la forme la moins dense) présente le pourcentage le plus haut de viabilité solaire passive. Cependant, la *forme initiale* du cas d'étude qui dispose d'un coefficient de densité urbaine relativement élevé (de l'ordre de 0.68) expose un pourcentage plutôt faible de la viabilité urbaine passive. On peut également remarquer que malgré que les deux formes urbaines en *pavillons* et en *cour*, disposent d'une densité similaire, leur revenu de gains solaire en mois d'hiver n'est pas le même (48.16% pour la forme en pavillons, et 41.18% pour la forme en cour). Cela nous conduit à souligner un autre paramètre, indépendant de la densité urbaine, influençant fortement la quantité d'énergie solaire reçue par la forme. C'est celui de la surface totale de l'enveloppe. Au moment où l'enveloppe de la forme urbaine renferme une surface relativement grande, la surface d'échange augmente, ce qui conduit à recevoir une quantité supplémentaire d'énergie solaire.

¹ Pour voir les résultats détaillés (la quantité d'énergie solaire reçues sur chaque fragment des façades étudiées durant chaque mois), veuillez consulter la première section de l'annexe 4 sur le CD Rom.

VII.2.2. Effet de l'orientation et de l'inclinaison des toitures:

VII.2.2.1. Présentation des résultats:

VII.2.2.1.1. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour l'orientation est:

	Degré d'inclinaison de la toiture			
	0°	15°	30°	45°
Surface totale (m ²)	136.89	136.89	136.89	136.89
Surface atteint seuil (600 Kwh /m ² /an)	136.89	136.89	136.89	136.89
Viabilité solaire active(%)	100.00	100.00	100.00	100.00
Surface atteint seuil (1000 Kwh /m ² /an)	136.89	136.89	136.89	136.89
Viabilité solaire photovoltaïque(%)	100.00	100.00	100.00	100.00
Viabilité avec seuil=2500 Kwh/m²	0.00	0.00	0.00	0.00

Tableau 7.4. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour les toitures orientées vers l'est.

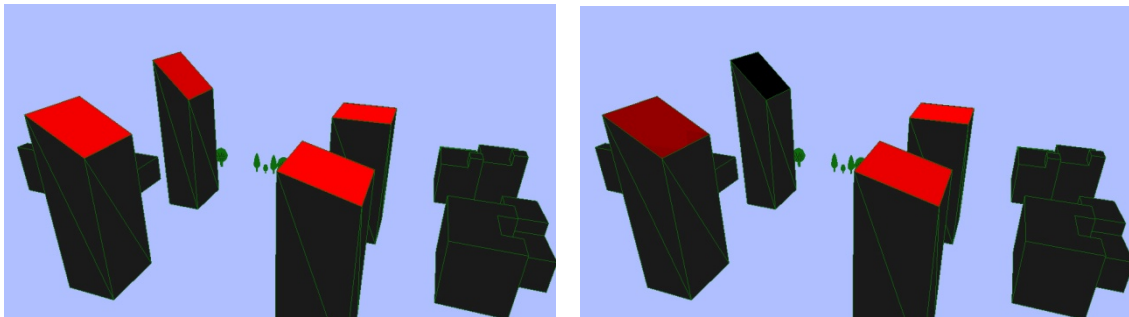


Figure 7.13 : toitures orientées vers l'est en appliquant un filtre de 600 kWh/m².an

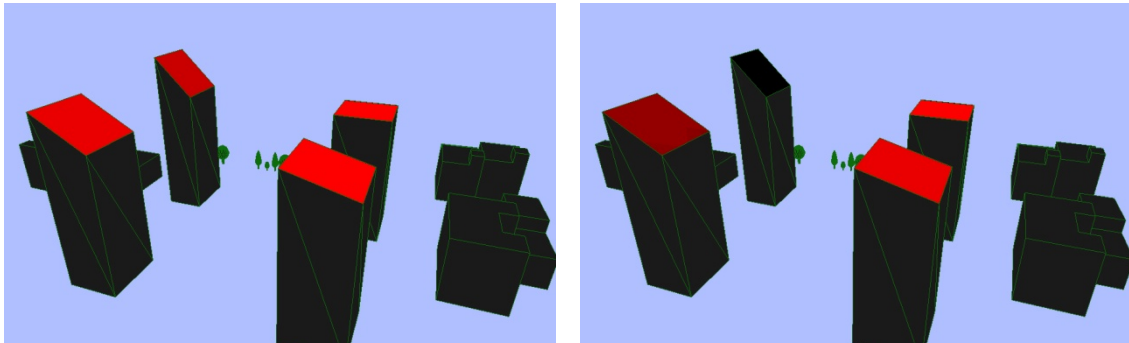


Figure 7.14 : toitures orientées vers l'est en appliquant un filtre de 1000 kWh/m².an

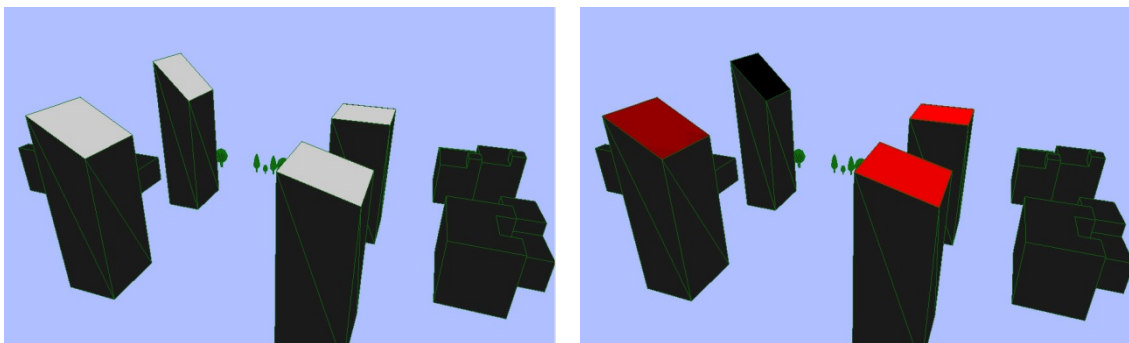


Figure 7.15 : toitures orientées vers l'est en appliquant un filtre de 2500 kWh/m².an

Figures de 7.13 à 7.15. Les gains d'énergie solaire globale annuelle pour les toitures orientées « Est », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour les techniques solaires active et photovoltaïque.

VII.2.2.1.2. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour l'orientation sud-est:

	Degré d'inclinaison de la toiture			
	0°	15°	30°	45°
Surface totale (m ²)	136.89	136.89	136.89	136.89
Surface atteint seuil (600 Kwh /m ² /an)	136.89	136.89	136.89	136.89
Viabilité solaire active(%)	100.00	100.00	100.00	100.00
Surface atteint seuil (1000 Kwh /m ² /an)	136.89	136.89	136.89	136.89
Viabilité solaire photovoltaïque(%)	100.00	100.00	100.00	100.00
Viabilité avec seuil=2500 Kwh/m²	0.00	100.00	100.00	100.00

Tableau 7.5. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour les toitures orientées vers le sud-est.

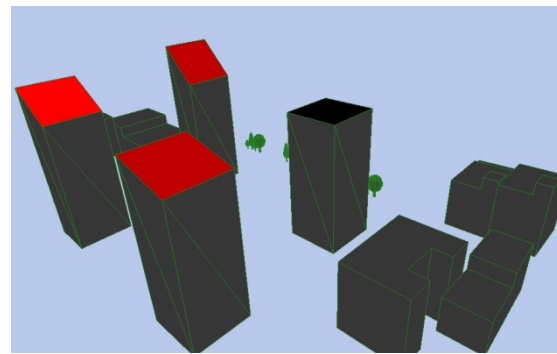
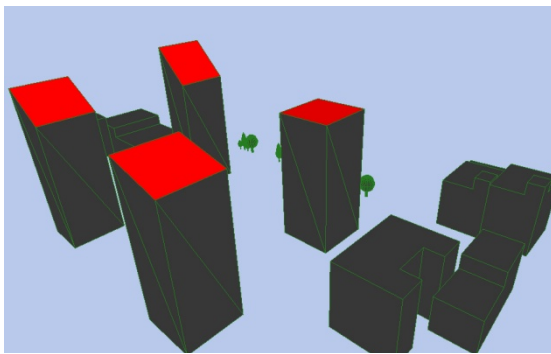


Figure 7.16 : toitures orientées vers le sud-est en appliquant un filtre de 600 kWh/m².an

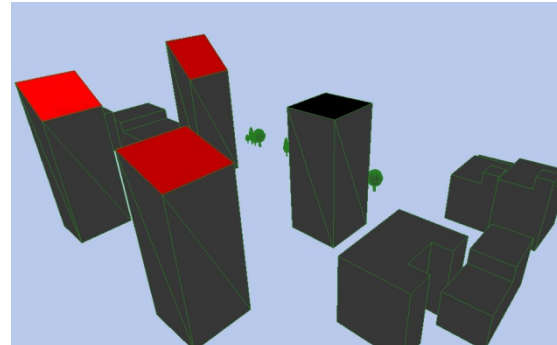
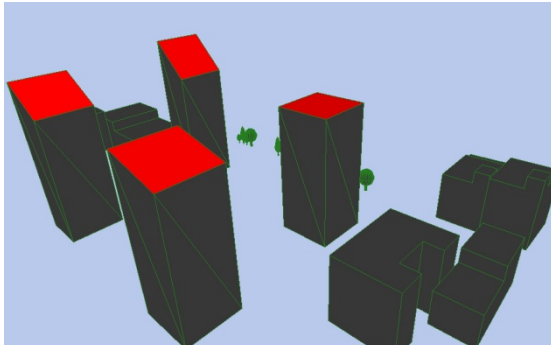


Figure 7.17 : toitures orientées vers le sud-est en appliquant un filtre de 1000 kWh/m².an

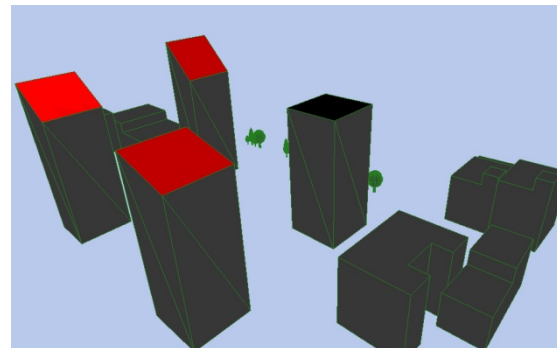
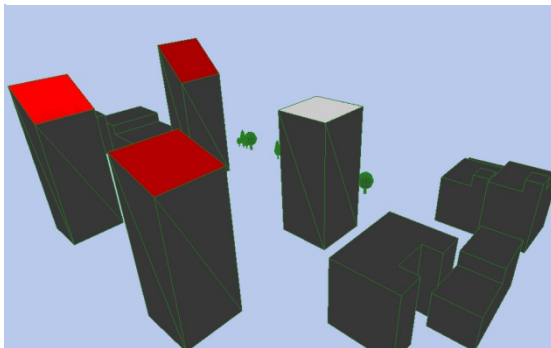


Figure 7.18 : toitures orientées vers le sud-est en appliquant un filtre de 2500 kWh/m².an

Figures de 7.16 à 7.18. Les gains d'énergie solaire globale annuelle pour les toitures orientées « Sud-est », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour les techniques solaires active et photovoltaïque.

VII.2.2.1.3. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour l'orientation sud:

	Degré d'inclinaison de la toiture			
	0°	15°	30°	45°
Surface totale (m ²)	136.89	136.89	136.89	136.89
Surface atteint seuil (600 Kwh /m ² /an)	136.89	136.89	136.89	136.89
Viabilité solaire active (%)	100.00	100.00	100.00	100.00
Surface atteint seuil (1000 Kwh /m ² /an)	136.89	136.89	136.89	136.89
Viabilité solaire photovoltaïque (%)	100.00	100.00	100.00	100.00
Viabilité avec seuil=2500 Kwh/m²	0.00	100.00	100.00	100.00

Tableau 7.6. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour les toitures orientées vers le sud.

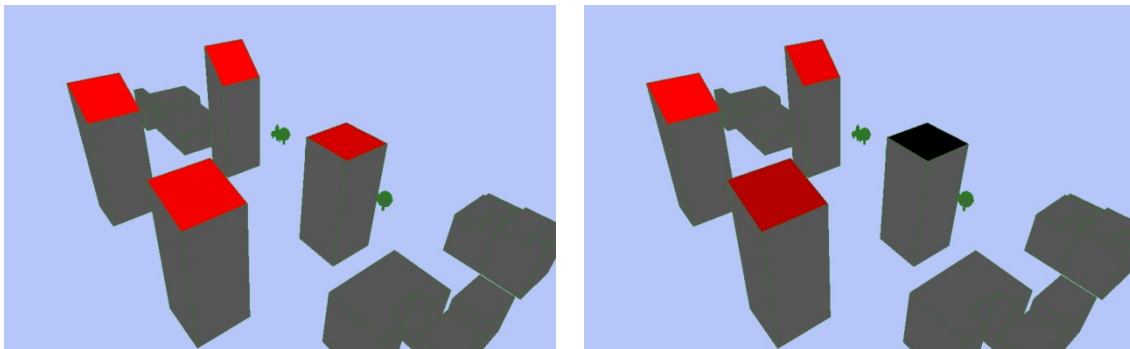


Figure 7.19 : toitures orientées vers le sud en appliquant un filtre de 600 kWh/m².an

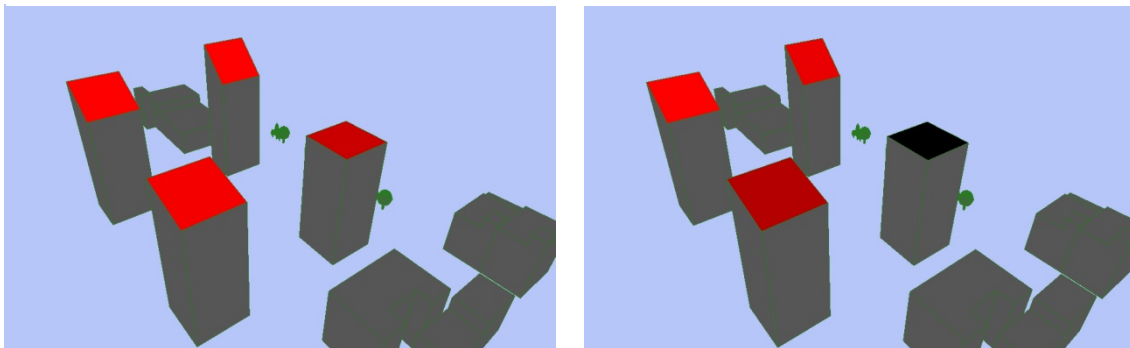


Figure 7.20 : toitures orientées vers le sud en appliquant un filtre de 1000 kWh/m².an

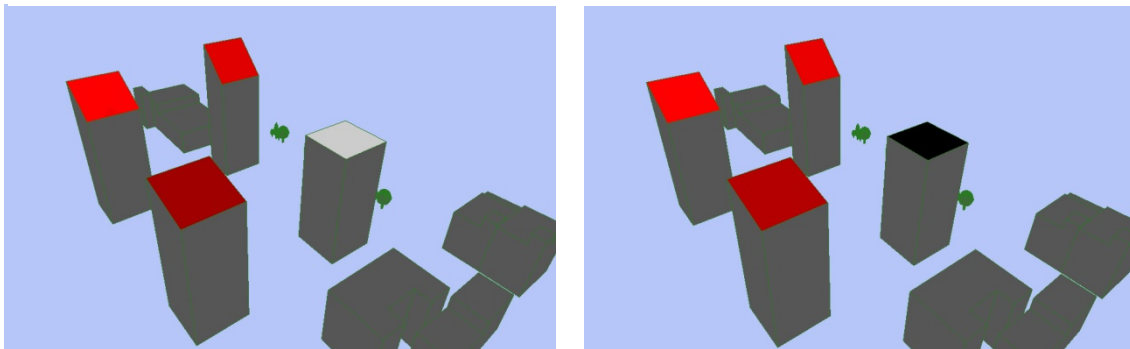


Figure 7.21 : toitures orientées vers le sud en appliquant un filtre de 2500 kWh/m².an

Figures de 7.19 à 7.21. Les gains d'énergie solaire globale annuelle pour les toitures orientées « Sud », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour les techniques solaires active et photovoltaïque.

VII.2.2.1.4. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour l'orientation sud-ouest:

	Degré d'inclinaison de la toiture			
	0°	15°	30°	45°
Surface totale (m ²)	136.89	136.89	136.89	136.89
Surface atteint seuil (600 Kwh /m ² /an)	136.89	136.89	136.89	136.89
Viabilité solaire active (%)	100.00	100.00	100.00	100.00
Surface atteint seuil (1000 Kwh /m ² /an)	136.89	136.89	136.89	136.89
Viabilité solaire photovoltaïque(%)	100.00	100.00	100.00	100.00
Viabilité avec seuil=2500 Kwh/m²	0.00	100.00	100.00	100.00

Tableau 7.7. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour les toitures orientées vers le sud-ouest.

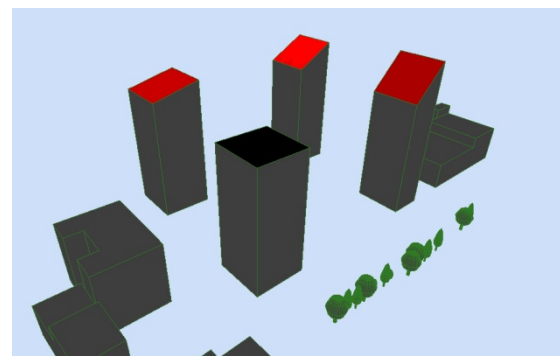
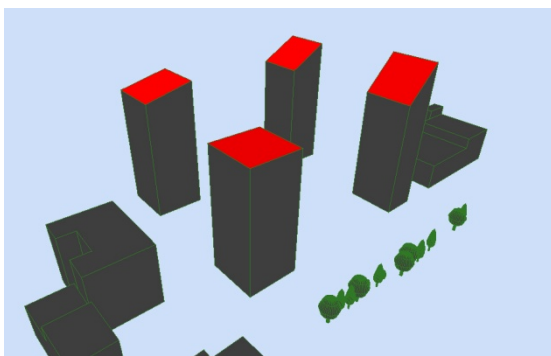


Figure 7.22 : toitures orientées vers le sud-ouest en appliquant un filtre de 600 kWh/m².an

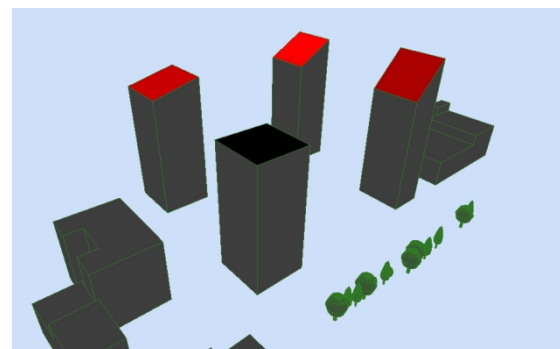
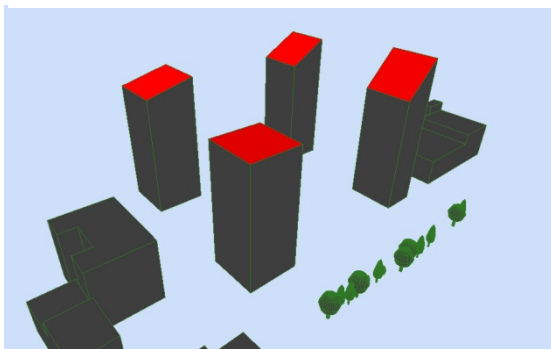


Figure 7.23 : toitures orientées vers le sud-ouest en appliquant un filtre de 1000 kWh/m².an

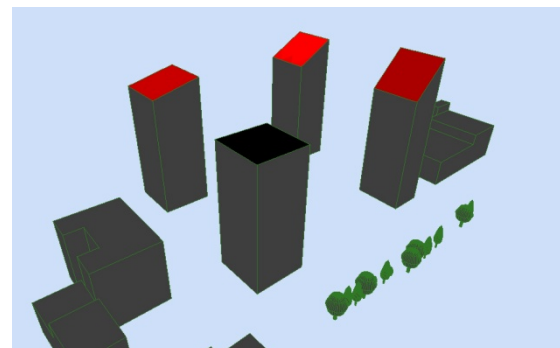
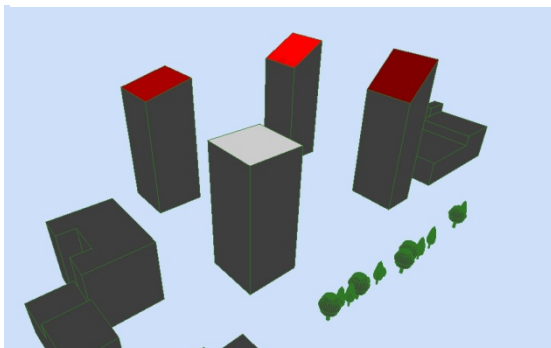


Figure 7.24 : toitures orientées vers le sud-ouest en appliquant un filtre de 2500 kWh/m².an

Figures de 7.22 à 7.24. Les gains d'énergie solaire globale annuelle pour les toitures orientées « Sud-ouest », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour les techniques solaires active et photovoltaïque.

VII.2.2.1.5. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour l'orientation ouest:

	Degré d'inclinaison de la toiture			
	0°	15°	30°	45°
Surface totale (m ²)	136.89	136.89	136.89	136.89
Surface atteint seuil (600 Kwh /m ² /an)	136.89	136.89	136.89	136.89
Viabilité solaire active (%)	100.00	100.00	100.00	100.00
Surface atteint seuil (1000Kwh /m ² /an)	136.89	136.89	136.89	136.89
Viabilité solaire photovoltaïque(%)	100.00	100.00	100.00	100.00
Viabilité avec seuil=2500 Kwh/m²(%)	0.00	0.00	0.00	0.00

Tableau 7.8. Viabilité des techniques solaires active et photovoltaïque pour les toitures orientées vers l'ouest.

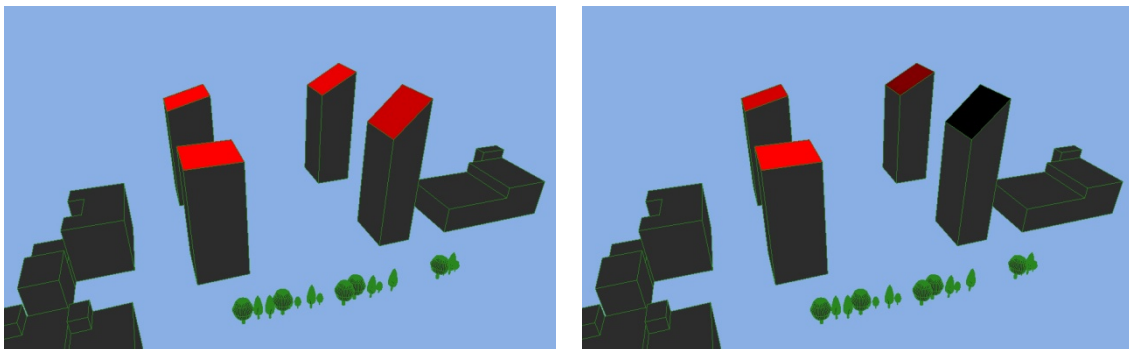


Figure 7.25 : toitures orientées vers l'ouest en appliquant un filtre de 600 kWh/m².an

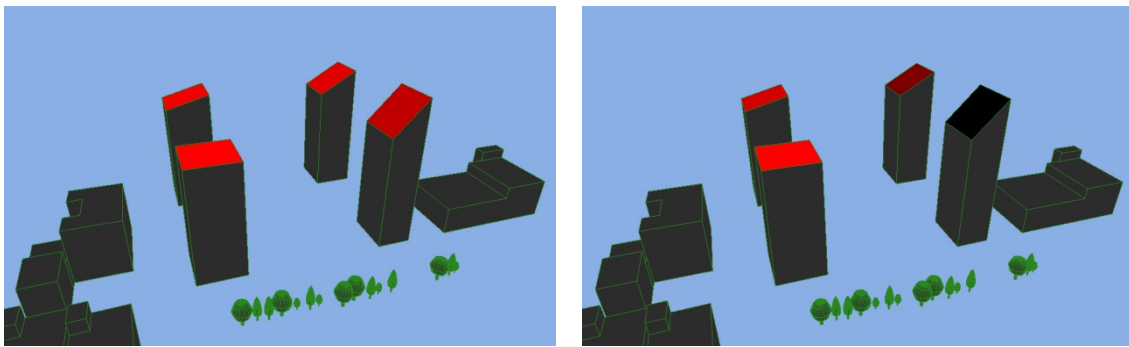


Figure 7.26 : toitures orientées vers l'ouest en appliquant un filtre de 1000 kWh/m².an

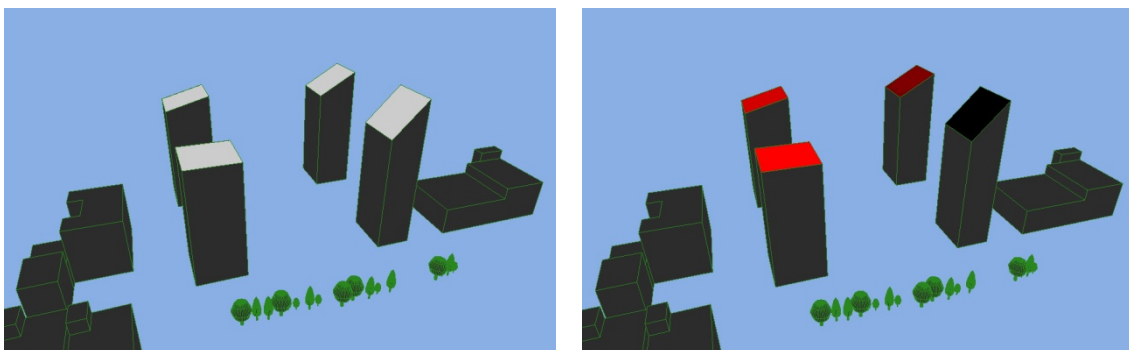
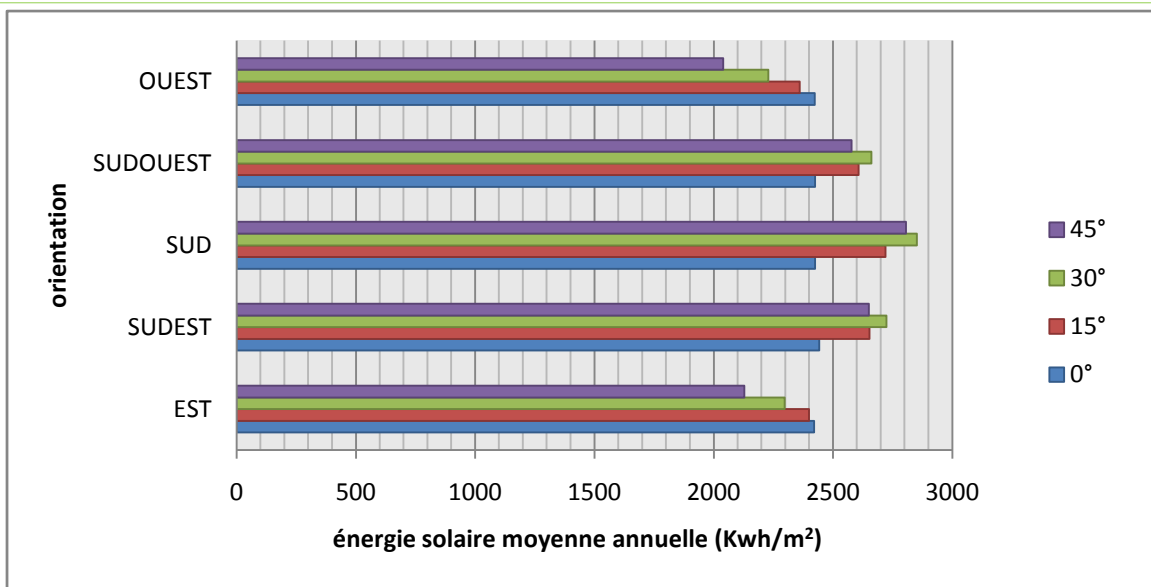


Figure 7.27 : toitures orientées vers l'ouest en appliquant un filtre de 2500 kWh/m².an

Figures de 7.25 à 7.27. Les gains d'énergie solaire globale annuelle pour les toitures orientées « Ouest », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation de filtre de seuil pour les techniques solaires active et photovoltaïque.



Graph 7.2. Récapitulatif des résultats d'énergie solaire moyenne annuelle pour les différentes orientations et inclinaisons de toitures.

VII.2.2.2. Discussion des résultats²:

Conformément aux résultats de simulation, il est possible d'installer les collecteurs thermiques et photovoltaïques sur chaque mètre carré de toutes les toitures étudiées (voir les tableaux de 7.4 à 7.8). Toutefois, le rendement de ces installations sera meilleur dans le cas où les toitures seraient orientées vers le sud avec une inclinaison de l'ordre de 30° (voir le graphique 7.2). De même, les toitures orientées vers le sud, sud-est, et sud-ouest avec les inclinaisons 15°, 30°, et 45° peuvent recevoir plus de 2500 Kwh/m² d'énergie solaire globale dans une année (Voir les figures 7.18 ; 7.21 ; 7.24 et le graphique 7.2). Sous les mêmes conditions dans différents sites en suisse, cette valeur ne dépasse pas 1200 Kwh/m². Ces valeurs relativement élevées peuvent être considéré comme une bonne raison pour réfléchir sérieusement à l'exploitation de cet énorme potentiel disponible.

La comparaison de la viabilité solaire photovoltaïque des toitures, calculée pour le district urbain existant (tableau 6.10) et pour les différents cas théoriques de la présente opération d'optimisation, montre que les résultats enregistrés pour les cas théoriques surpassent largement celles marquées pour les toitures du cas d'étude. Cette différence est principalement due à l'absence des obstructions dans les premiers cas, et dans une moindre mesure, aux deux paramètres étudiés dans la présente section (l'orientation et le degré d'inclinaison).

² Pour voir les résultats détaillés (la quantité d'énergie reçue sur chaque fragment des toitures étudiées), veuillez consulter la section 2 de l'annexe 4 sur le CD Rom.

Les résultats ont montré aussi que dans les deux orientations est et ouest, c'est les toitures plates qui recueillent le maximum de gains solaires annuelles. En revanche, c'est les toitures de 45° d'inclinaison qui ont marqué les valeurs minimales. Mais si on veut maximiser les apports solaires annuels dans les trois autres orientations (sud, sud-est, et sud-ouest), il est recommandé de concevoir des toitures en pente avec une inclinaison de 30°.

VII.2.3. Effet de l'exposition des façades (orientation des rues):

VII.2.3.1. Présentation des résultats:

VII.2.3.1.1. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour l'exposition est:

	Exposition Est
Surface totale de la façade (m ²)	512.56
Surface (en m ²) atteint seuil (151 Kwh /m ² /an)	417.67
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=151 Kwh/m²	81.49
Surface (en m ²) atteint seuil (212Kwh /m ² /an)	234.46
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=212 Kwh/m²	45.74
Viabilité de la lumière du jour (%)	61.27

Tableau 7.9. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades orientées vers l'est.

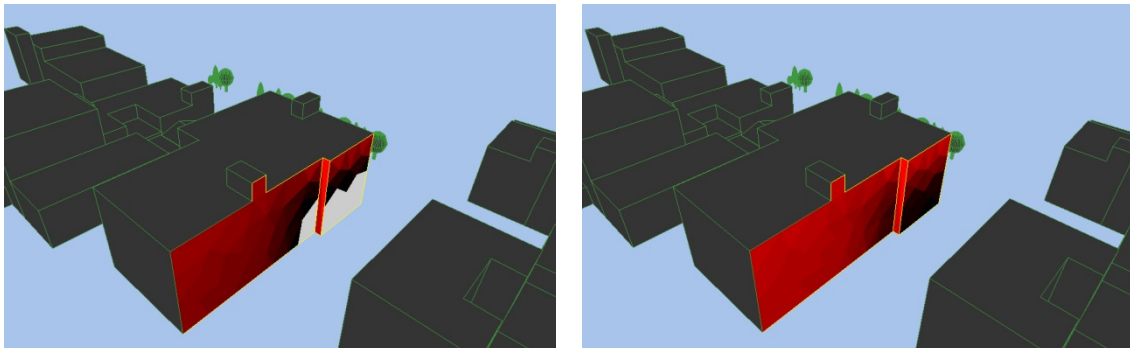


Figure 7.28 : façades orientées vers l'est en appliquant un filtre de 151 kWh/m².an

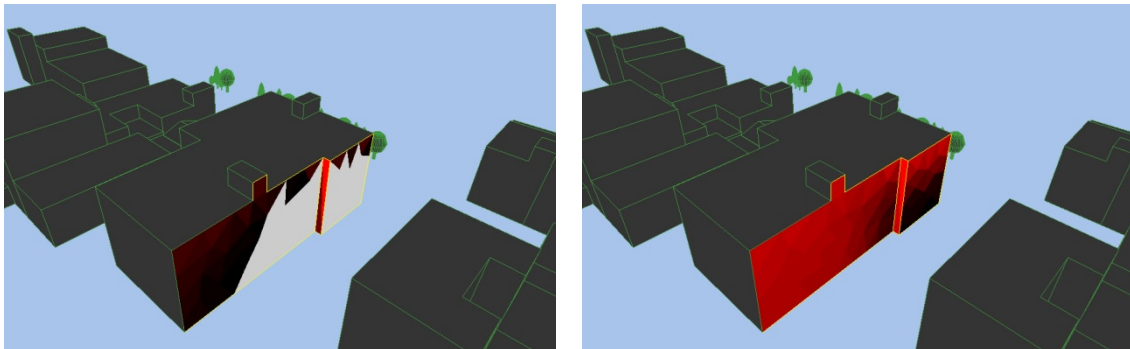


Figure 7.29 : façades orientées vers l'est en appliquant un filtre de 212 kWh/m².an

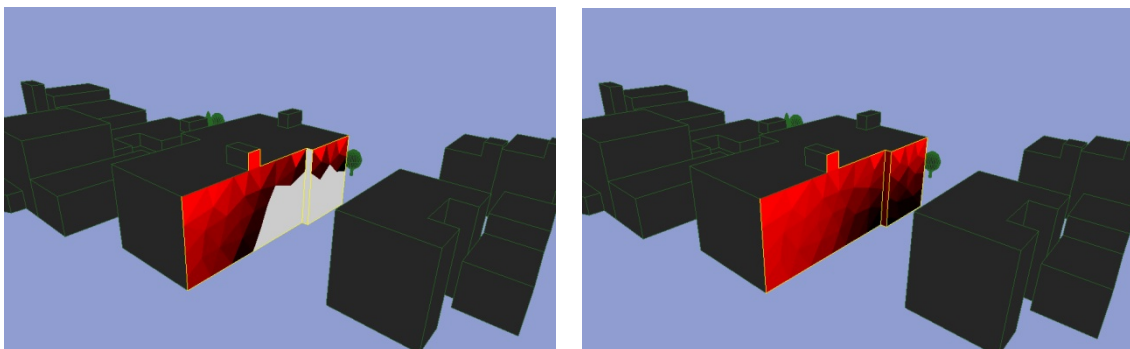


Figure 7.30 : façades orientées vers l'est en appliquant un filtre de 10 KLux/m².an

Figures de 7.28 à 7.30. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades orientées « est », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils.

VII.2.3.1.2. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour l'exposition sud-est:

	Exposition Sud-est
Surface totale de la façade (m ²)	512.56
Surface (en m ²) atteint seuil (151 Kwh /m ² /an)	512.56
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=151 Kwh/m²	100.00
Surface (en m ²) atteint seuil (212Kwh /m ² /an)	461.23
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=212 Kwh/m²	89.98
Viabilité de la lumière du jour (%)	80.24

Tableau 7.10. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades orientées vers le sud-est.

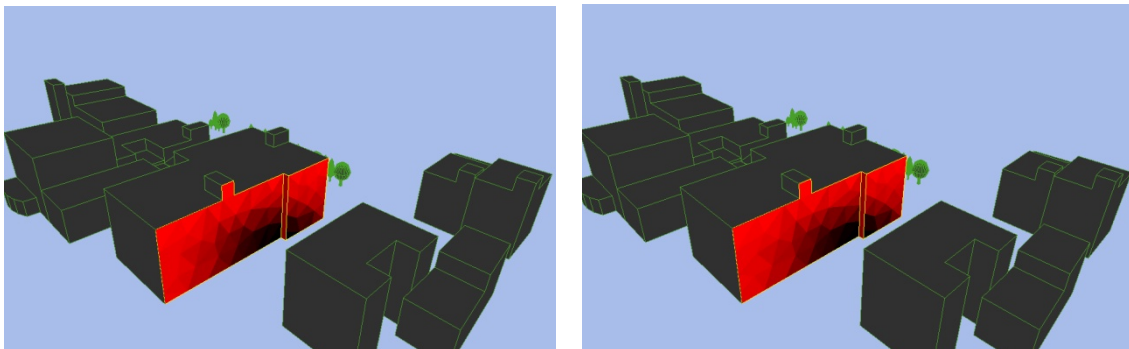


Figure 7.31 : façades orientées vers le sud-est en appliquant un filtre de 151 kWh/m².an

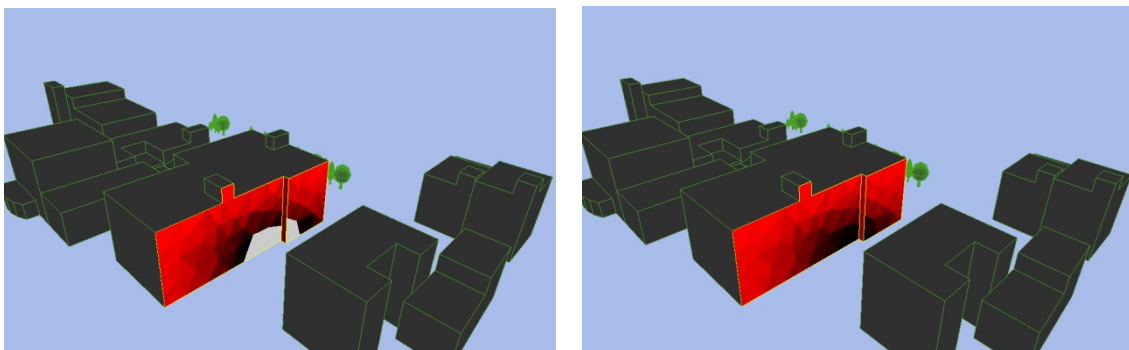


Figure 7.32 : façades orientées vers le sud-est en appliquant un filtre de 212 kWh/m².an

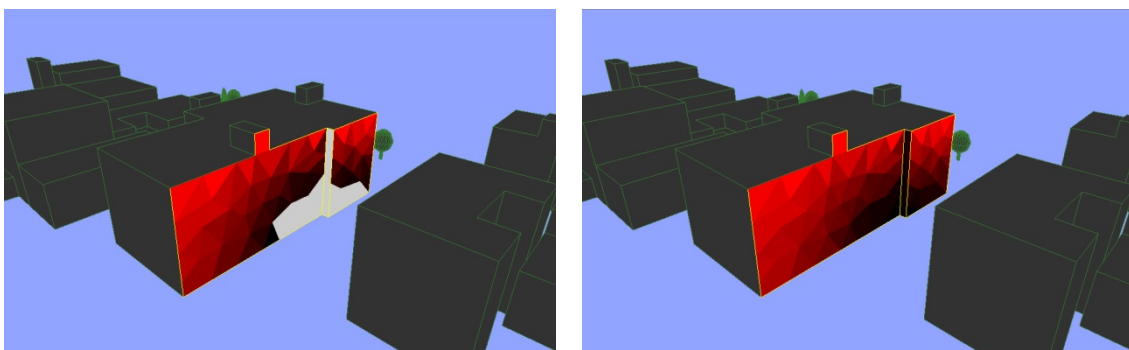


Figure 7.33 : façades orientées vers le sud-est en appliquant un filtre de 10 KLux/m².an

Figures de 7.31 à 7.33. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades orientées « sud-est », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils.

VII.2.3.1.3. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour l'exposition sud:

	Exposition Sud
Surface totale de la façade (m ²)	512.56
Surface (en m ²) atteint seuil (151 Kwh /m ² /an)	504.39
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=151 Kwh/m²	98.41
Surface (en m ²) atteint seuil (212Kwh /m ² /an)	496.23
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=212 Kwh/m²	96.81
Viabilité de la lumière du jour (%)	92.57

Tableau 7.11. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades orientées vers le sud.

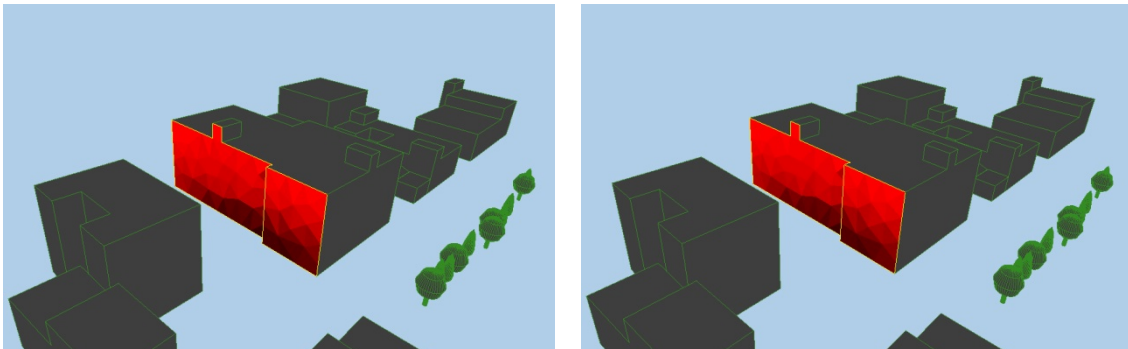


Figure 7.34 : façades orientées vers le sud en appliquant un filtre de 151 kWh/m².an

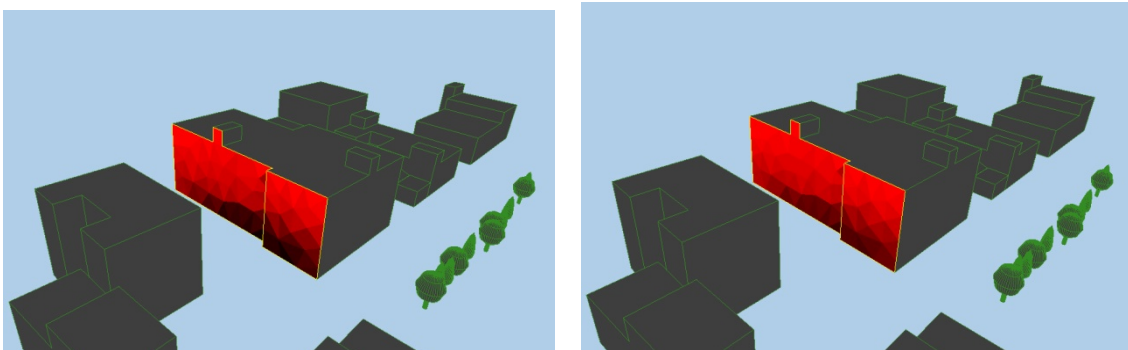


Figure 7.35 : façades orientées vers le sud en appliquant un filtre de 212 kWh/m².an

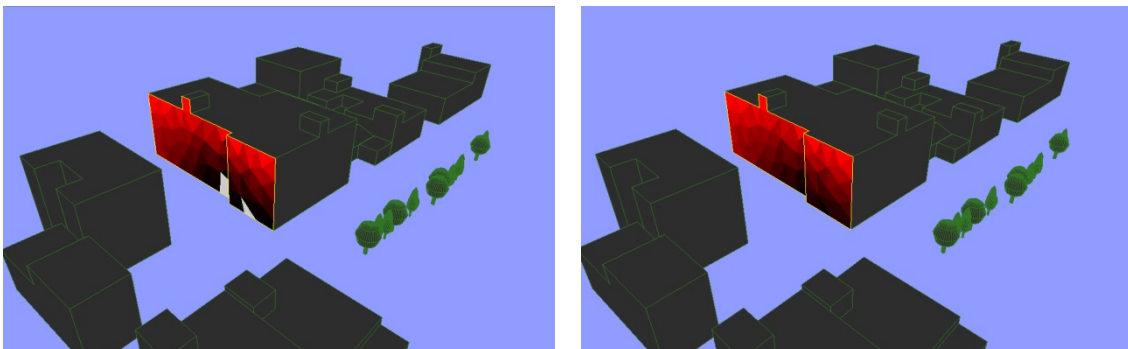


Figure 7.36 : façades orientées vers le sud en appliquant un filtre de 10 KLux/m².an

Figures de 7.34 à 7.36. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades orientées « sud », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils.

VII.2.3.1.4. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour l'exposition sud-ouest:

	Exposition Sud-ouest
Surface totale de la façade (m ²)	512.56
Surface (en m ²) atteint seuil (151 Kwh /m ² /an)	488.84
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=151 Kwh/m²	95.37
Surface (en m ²) atteint seuil (212Kwh /m ² /an)	435.03
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=212 Kwh/m²	84.87
Viabilité de la lumière du jour (%)	83.79

Tableau 7.12. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades orientées vers le sud-ouest.

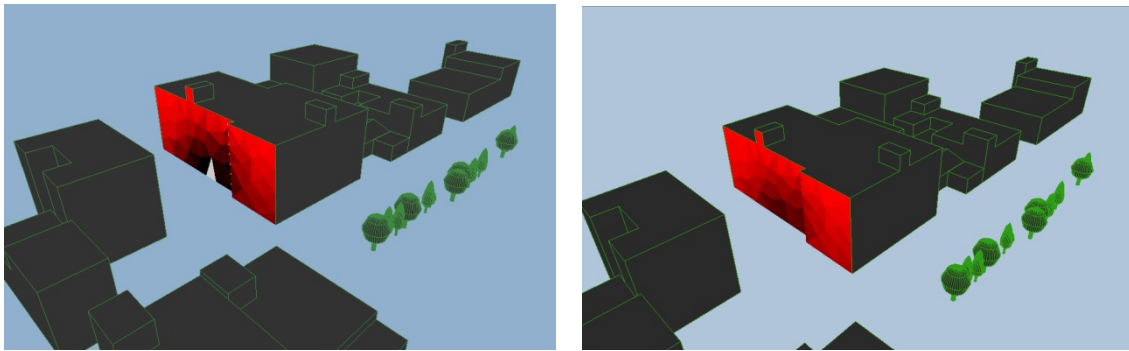


Figure 7.37 : façades orientées vers le sud-ouest en appliquant un filtre de 151 kWh/m².an

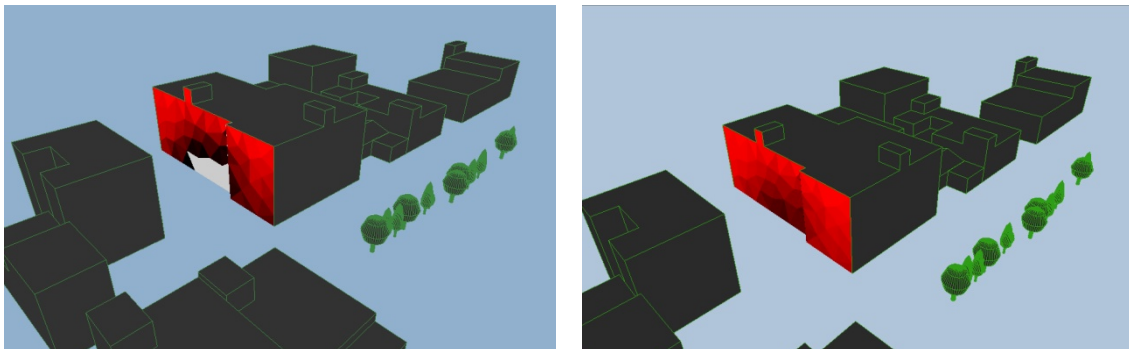


Figure 7.38 : façades orientées vers le sud-ouest en appliquant un filtre de 212 kWh/m².an

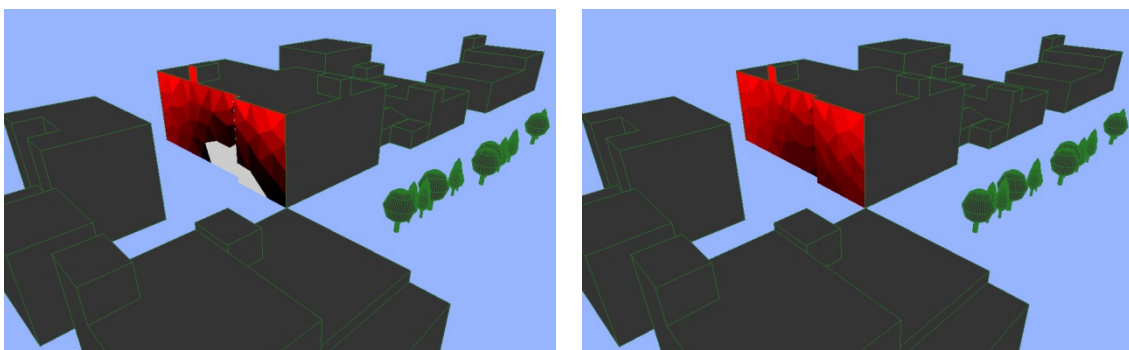


Figure 7.39 : façades orientées vers le sud-ouest en appliquant un filtre de 10 KLux/m².an

Figures de 7.37 à 7.39. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades orientées « sud-ouest », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils.

VII.2.3.1.5. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour l'exposition Ouest:

	Exposition Ouest
Surface totale de la façade (m ²)	512.56
Surface (en m ²) atteint seuil (151 Kwh /m ² /an)	242.52
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=151 Kwh/m²	47.31
Surface (en m ²) atteint seuil (212Kwh /m ² /an)	12.83
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=212 Kwh/m²	2.50
Viabilité de la lumière du jour (%)	55.82

Tableau 7.13. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades orientées vers l'ouest.

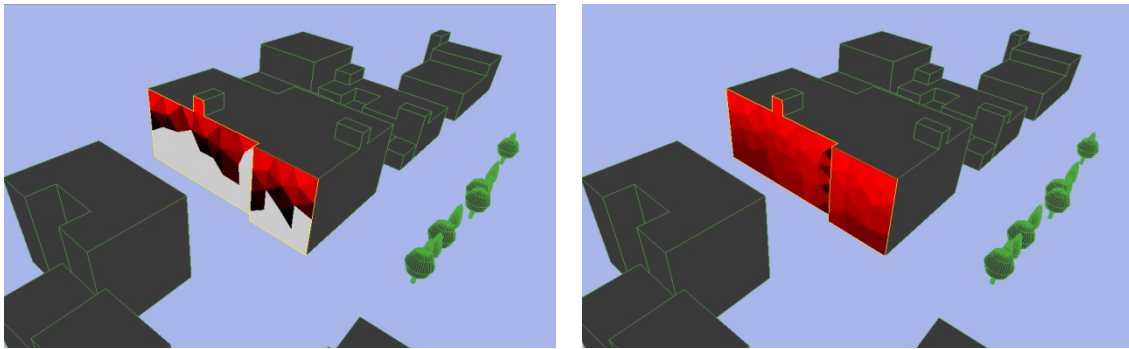


Figure 7.40 : façades orientées vers l'ouest en appliquant un filtre de 151 kWh/m².an

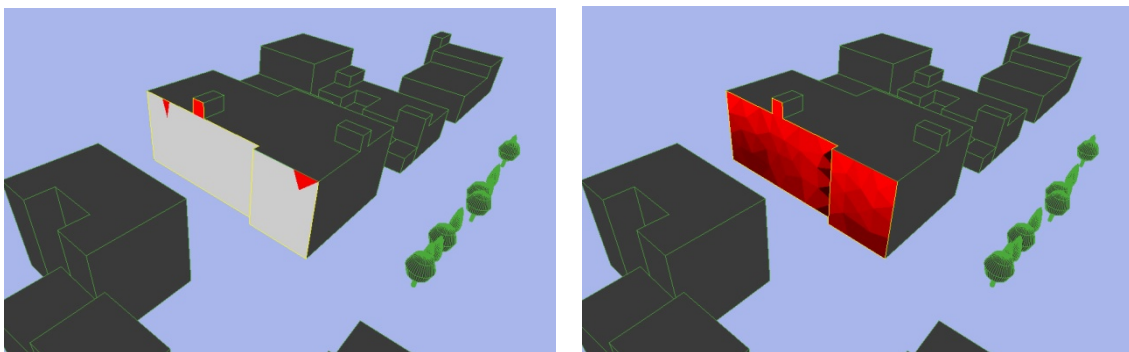


Figure 7.41 : façades orientées vers l'ouest en appliquant un filtre de 212 kWh/m².an

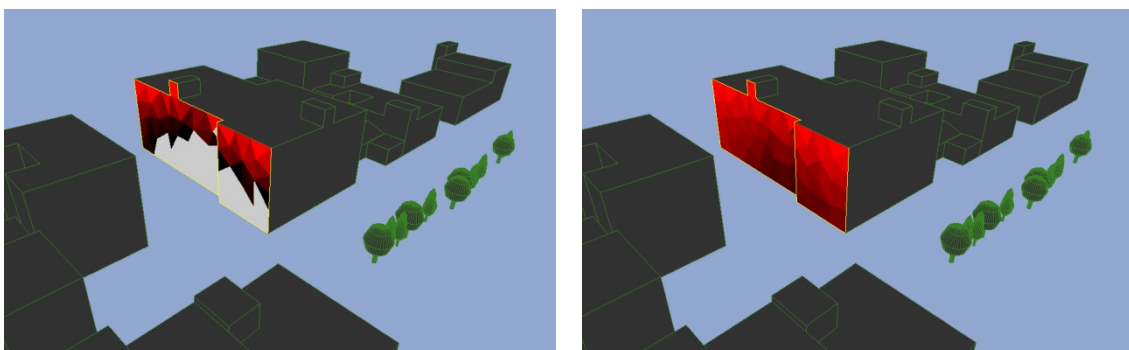
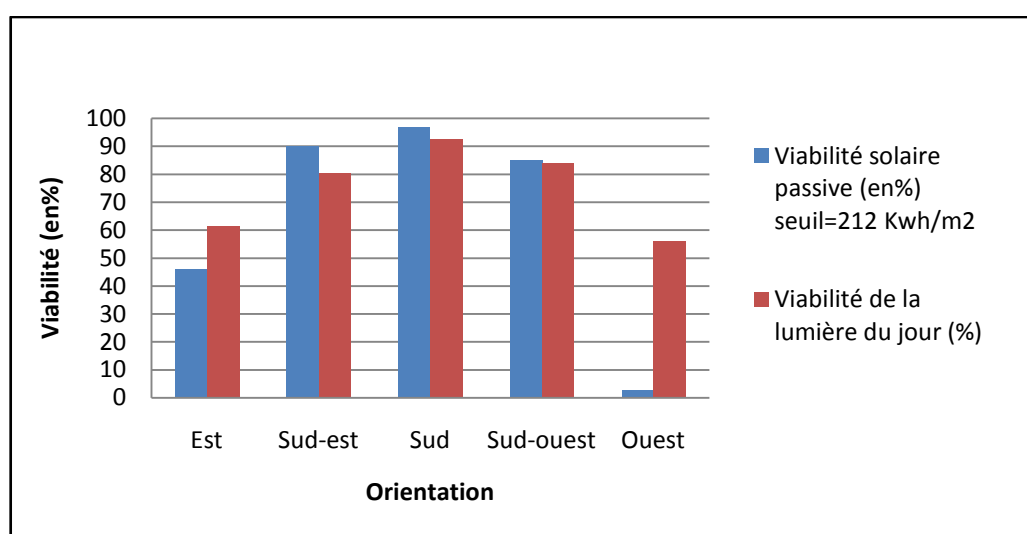


Figure 7.42 : façades orientées vers l'ouest en appliquant un filtre de 10 KLux/m².an

Figures de 7.40 à 7.42. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades orientées « Ouest », avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils.

	Exposition de la façade				
	Est	Sud-est	Sud	Sud-ouest	Ouest
Surface totale (m ²)	512.56	512.56	512.56	512.56	512.56
Surface atteint seuil (151 Kwh /m ² /an)	417.67	512.56	504.39	488.84	242.52
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=151 Kwh/m²	81.49	100.00	98.41	95.37	47.31
Surface atteint seuil (212Kwh /m ² /an)	234.46	461.23	496.23	435.03	12.83
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=212 Kwh/m²	45.74	89.98	96.81	84.87	2.50
Surface atteint seuil (10KLux /m ² /an)	314.02	411.25	474.44	429.46	286.11
Viabilité de la lumière du jour (%)	61.27	80.24	92.57	83.79	55.82

Tableau 7.14. Récapitulatif des résultats de la viabilité solaire passive et celle de la lumière du jour pour les différentes orientations étudiées.



Graph 7.3. Récapitulatif des résultats de la viabilité solaire passive et celle de la lumière du jour pour les différentes orientations étudiées.

Source du tableau 7.14 et du graphe 7.3 : Auteur.

VII.2.3.2. Discussion des résultats³:

Durant la saison d'hiver, plus que la moitié de la surface totale des façades orientées vers l'est et l'ouest ne peuvent guère récupérer les pertes de chaleur en profitant de l'énergie issu du soleil (voir les figures 7.28-7.29 ; 7.40-7.41). Avec un seuil égal à 212Kwh/m², la viabilité solaire passive des façades orientées vers l'ouest se limite à 2,5%, quant à celle enregistré pour les façades orientées vers l'est marque la valeur 45% (voir les tableaux 7.9 ; 7.13). C'est l'orientation sud qui présente la valeur maximale qui est de l'ordre de 96.81% avec un seuil de 212 Kwh/m², et de 98.41% si le seuil des techniques solaires passives prend la valeur 151 Kwh/m² (voir le tableau 7.11). Concernant les deux autres

³ Pour voir les résultats détaillés (la quantité d'énergie et d'éclairement reçues sur chaque fragment des façades étudiées), veuillez consulter la section 3 de l'annexe 4 sur le CD Rom.

orientations (sud-est et sud-ouest), les résultats sont plutôt acceptables. Les deux façades affichent respectivement 89.98% et 84.87% de viabilité solaire passive (voir les tableaux 7.10 et 7.12). Seule la partie centrale du rez-de-chaussée de ces deux façades qui n'arrive pas à collecter la quantité d'énergie nécessaire pour équilibrer le bilan thermique hivernal. Le graphe 7.3 montre que la viabilité de la lumière du jour suit logiquement le même comportement de celle du solaire passif. Pour le site de la nouvelle cité administrative de la ville de Batna, c'est évidemment les orientations qui sont les plus proches du sud (-45° et 45°) qui entraînent le plus fort éclairage, les expositions sud-est et sud-ouest affichent respectivement les valeurs 80.24% et 83.79% de viabilité de lumière du jour (voir les tableaux 7.10 ; 7.12). Cependant la façade sud est la plus favorable en marquant plus de 92%. Encore une fois, les façades est et ouest présentent les résultats les plus faibles, dont plus de 40% de la surface totale de ces dernières ne réussissent pas à assurer un éclairage de 500 Lux du plan de travail. C'est la partie centrale du rez-de-chaussée des façades qui affiche les valeurs les plus basses en raison de l'impact de l'ombre des objets environnants (Figures 7. 28-7.33 ; 7.37-7.42).

D'après tous ce qui à été analysé, on peut donc conclure que pendant toute l'année comme en hiver, l'orientation Sud des façades urbaines de la ville de Batna semble être meilleure en terme d'éclairage naturel du fait qu'elle garantit un éclairage supérieur à $10\text{Klux/m}^2.\text{an}$ pour plus de 90% de la surface totale de la façade. Une valeur qui assure la disponibilité de 500Lux sur le plan de travail à l'intérieur des bâtiments. De plus, les façades exposées vers le sud sont les mieux placées pour récupérer les pertes de chaleur pendant une saison de chauffage. Cependant, les orientations sud-est et sud-ouest sont encore très convenables (graphe 7.3).

VII.2.4. Effet du rapport de la hauteur des bâtiments à la largeur des rues (H/W) :

VII.2.4.1. Présentation des résultats:

VII.2.4.1.1. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour un canyon (h/w=4):

	Forme de canyon (h/w=4)
Surface totale de la façade (m ²)	512.56
Surface (en m ²) atteint seuil (151 Kwh /m ² /an)	175.07
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=151 Kwh/m²	34.16
Surface (en m ²) atteint seuil (212Kwh /m ² /an)	133.94
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=212 Kwh/m²	26.13
Viabilité de la lumière du jour (%)	15.75

Tableau 7.15. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades sud de la forme « canyon ».

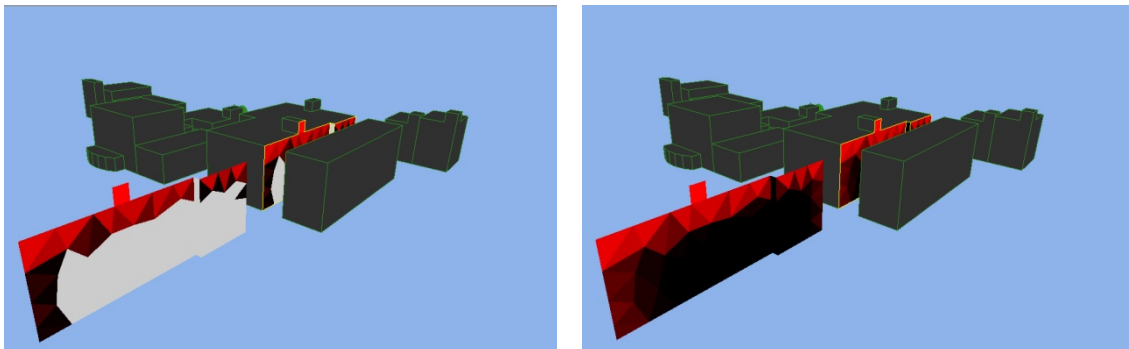


Figure 7.43 : façades sud en appliquant un filtre de 151 kWh/m².an

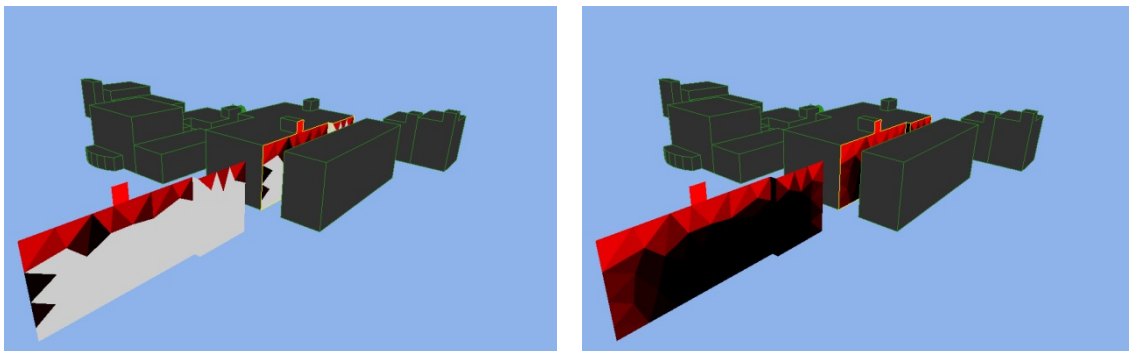


Figure 7.44 : façades sud en appliquant un filtre de 212 kWh/m².an

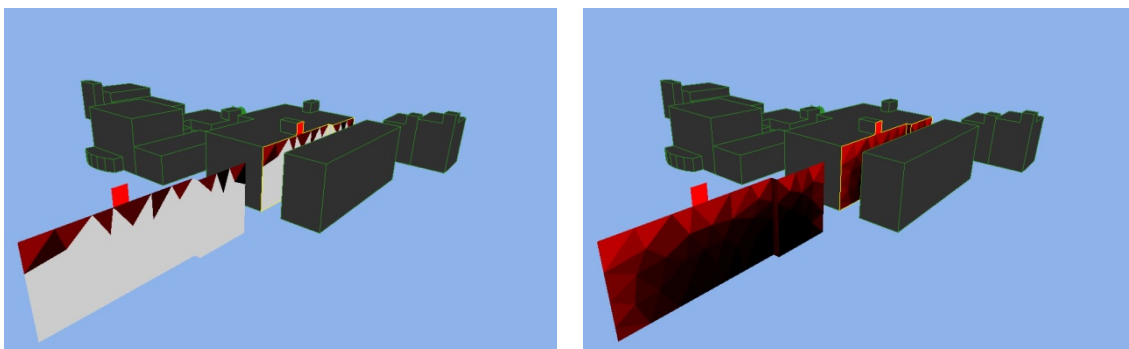


Figure 7.45 : façades sud en appliquant un filtre de 10 KLux/m².an

Figures de 7.43 à 7.45. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades sud dont H/W= 4, avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils.

VII.2.4.1.2. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour un dièdre (h/w=1):

	Forme de dièdre (h/w=1)
Surface totale de la façade (m ²)	512.56
Surface (en m ²) atteint seuil (151 Kwh /m ² /an)	402.72
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=151 Kwh/m²	78.57
Surface (en m ²) atteint seuil (212Kwh /m ² /an)	357.10
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=212 Kwh/m²	69.67
Viabilité de la lumière du jour (%)	56.32

Tableau 7.16. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades sud de la forme « dièdre ».

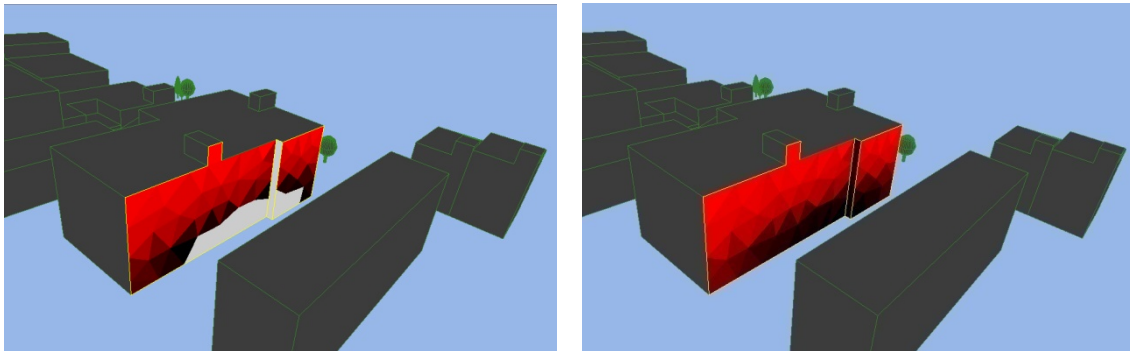


Figure 7.46 : façades sud en appliquant un filtre de 151 kWh/m².an

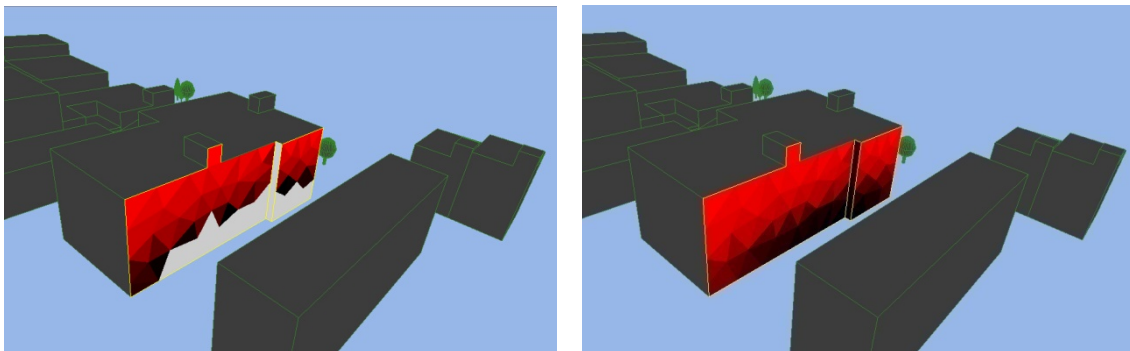


Figure 7.47 : façades sud en appliquant un filtre de 212 kWh/m².an

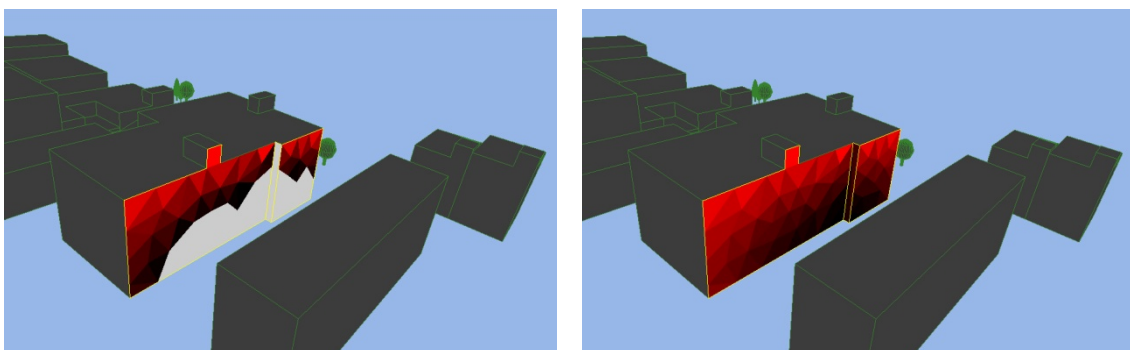


Figure 7.48 : façades sud en appliquant un filtre de 10 KLux/m².an

Figures de 7.46 à 7.48. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades sud dont H/W= 1, avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils.

VII.2.4.1.3. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour une rue dégagée ($h/w=0.5$):

Forme de rue dégagée ($h/w=0.5$)	
Surface totale de la façade (m^2)	512.56
Surface (en m^2) atteint seuil (151 Kwh / m^2 /an)	512.56
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=151 Kwh/m^2	100.00
Surface (en m^2) atteint seuil (212Kwh / m^2 /an)	496.23
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=212 Kwh/m^2	96.81
Viabilité de la lumière du jour (%)	98.41

Tableau 7.17. Viabilité des techniques solaires passive et de lumière du jour pour les façades sud de la forme « dégagée ».

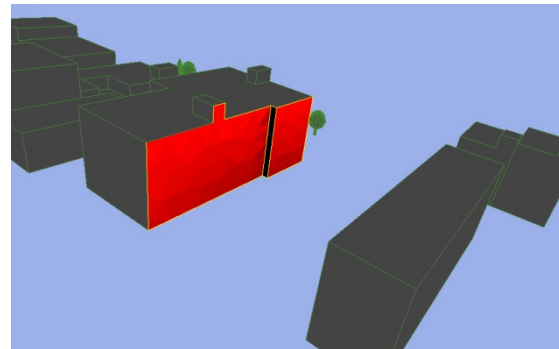
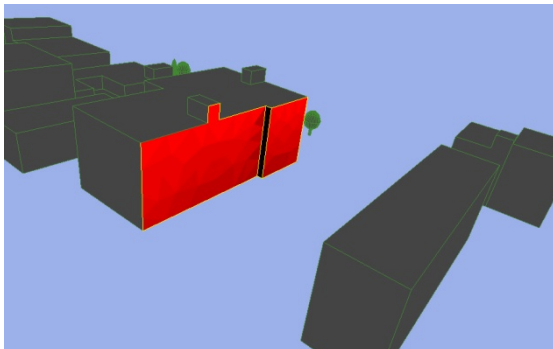


Figure 7.49 : façades sud en appliquant un filtre de 151 kWh/m2.an

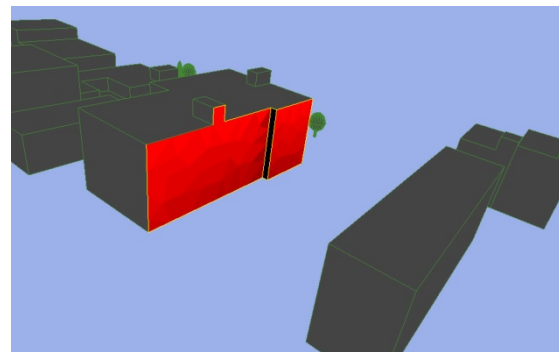
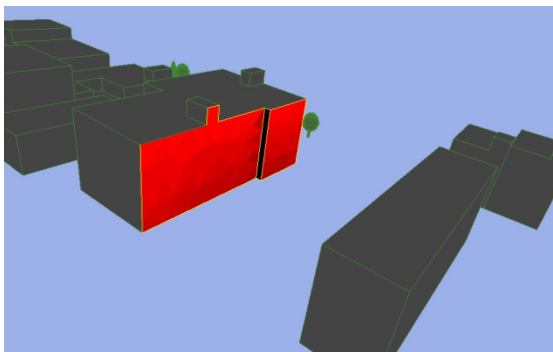


Figure 7.50 : façades sud en appliquant un filtre de 212 kWh/m2.an

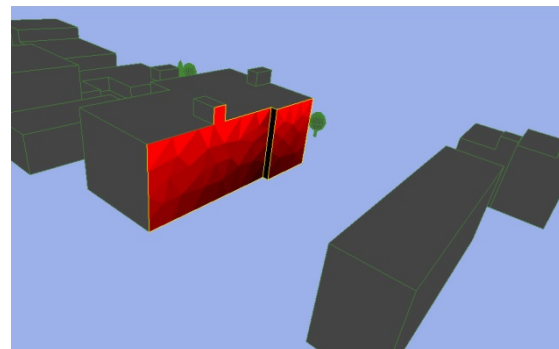
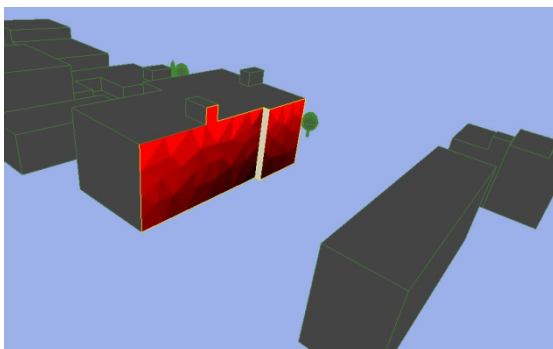
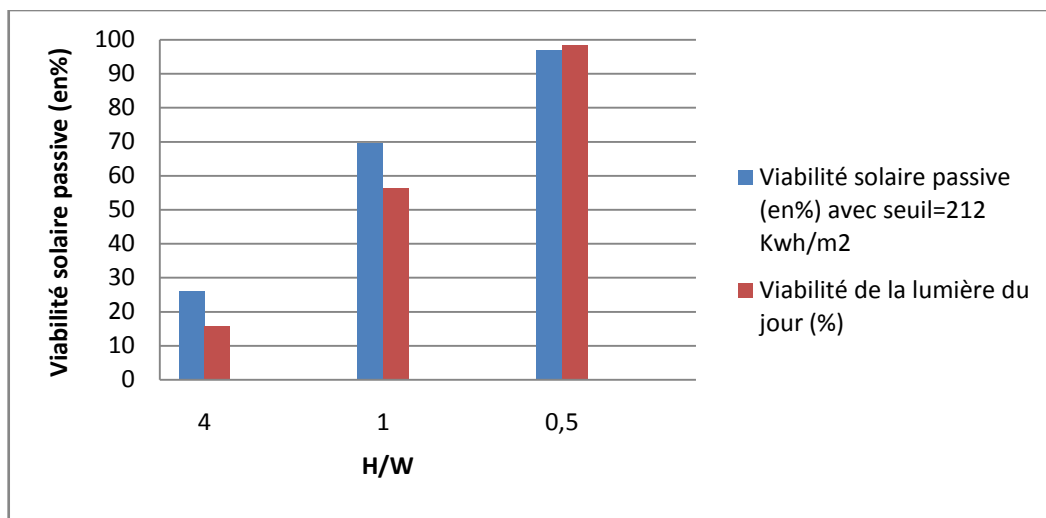


Figure 7.51 : façades sud en appliquant un filtre de 10 KLux/m2.an

Figures de 7.49 à 7.51. Les gains annuels d'énergie solaire globale et de lumière du jour pour les façades sud dont $H/W=0.5$, avant (à droite) et après (à gauche) l'utilisation des filtres de seuils.

	h/w=4	h/w=1	h/w=0.5
Surface totale (m ²)	512.56	512.56	512.56
Surface atteint seuil (151 Kwh /m ² /an)	175.07	402.72	512.56
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=151 Kwh/m²	34.16	78.57	100.00
Surface atteint seuil (212Kwh /m ² /an)	133.94	357.10	496.23
Viabilité solaire passive (en%) avec seuil=212 Kwh/m²	26.13	69.67	96.81
Surface atteint seuil (10KLux /m ² /an)	80.72	288.65	504.39
Viabilité de la lumière du jour (%)	15.75	56.32	98.41

Tableau 7.18. Récapitulatif des résultats de la viabilité solaire passive et celle de la lumière du jour pour les différentes valeurs du rapport H/W.



Graphe 7.4. Récapitulatif des résultats de la viabilité solaire passive et celle de la lumière du jour pour les différentes valeurs du rapport H/W.

VII.2.4.2. Discussion des résultats⁴:

On peut estimer à partir des résultats illustrés dans le tableau 7.18 et le graphe 7.4 que pour le site de la nouvelle cité administrative de la wilaya de Batna, le pourcentage des façades viable pour le solaire passif est inversement proportionnel à la valeur du rapport de la hauteur des bâtiments à la largeur des rues. Dans la forme de canyon où le rapport H/W prend la plus grande valeur (4), la surface des façades pouvant récupérer les pertes de chaleur durant les mois d'hiver se limite à 26.13% de la surface totale. Cette valeur augmente jusqu'à 69.67% pour la forme dièdre où H/W =1. Le meilleur résultat obtenu de la viabilité solaire passive est calculé pour la forme dégagé dont H/W=0.5, cette dernière

⁴ Pour voir les résultats détaillés (la quantité d'énergie et d'éclairement reçues sur chaque fragment des façades étudiées), veuillez consulter la section 4 de l'annexe 4 sur le CD Rom.

affiche 96.81% avec un seuil de 212 KWh/m².an et 100% de viabilité solaire passive pour un seuil de 151 KWh/m².an.

La viabilité de lumière du jour suit logiquement le même comportement de celle du solaire passif. Quand la hauteur des bâtiments est quatre fois plus grande que la largeur des rues, moins de 16% de la surface totale des façades peuvent cumuler 500 Lux d'éclairage naturel sur le plan de travail. C'est les formes dégagées de rues qui entraînent le plus fort éclairage : avec un rapport de H/W=0.5 presque toute la surface des façades étudiées reçoit une quantité moyenne d'éclairage supérieure à 10 Klux. Toutefois, la forme dièdre affiche uniquement 56.32% de viabilité de lumière du jour. C'est les parties inférieures des façades (le rez-de-chaussée et l'étage premier) qui affiche les valeurs les plus basses en raison de l'impact de l'ombre des objets environnants (figure 7.48).

On peut donc conclure que si on veut un rendement maximal des différentes technologies solaires dans la ville de Batna, on doit construire des rues dont la largeur soit au minimum le double de la hauteur moyenne des bâtiments qui les délimitent. Cela est possible dans le cas où les bâtiments ne dépassent pas quatre étages de hauteur (environ 13m). Dans le cas contraire, les rues vont mesurer plus de 30m de largeur afin d'obtenir un potentiel optimal de l'énergie solaire. C'est évidemment impossible à réaliser, que se soit du point de vue de la conception architecturale des plans d'aménagement, ou du point de vue des coûts de terrain élevé dans les zones urbaines, ce qui conduit à une construction plutôt dense.

VII.3. CONCLUSION :

A travers le présent chapitre, on a essayé d'optimiser l'accès de la lumière naturel et de maximiser les apports énergétiques passifs dans les bâtiments en comparant le rendement énergétique et lumineux de plusieurs formes urbaines issues en changeant plusieurs paramètres supposés avoir un impact considérable sur les gains solaires.

Dans le but d'optimiser la géométrie capable de recevoir le maximum de l'irradiation solaire, on a effectué -dans la première section de ce chapitre- une enquête comparative entre la forme initiale du cas d'étude et différentes formes hypothétiques inspirées de la recherche théorique, à savoir : la forme en pavillons, la forme en cour, et la forme en quatre tours séparées. Le procédé d'évaluation retenue pour cette comparaison s'articule sur l'idée de maximiser le solde net entre leurs gains et leurs pertes solaires thermiques. Les résultats ont montré que la forme urbaine composée de quatre bâtiments prenant la

forme *tour* est la plus performante, suivie par la forme en *pavillons* avec une légère différence. On a pu déduire aussi que pendant la saison d'hiver, les gains solaires passifs sont situés la plupart du temps sur les façades du sud-ouest et du sud-est dans tous les cas simulés, et que la viabilité solaire passive est inversement proportionnelle à la densité urbaine.

Dans la deuxième section du présent chapitre, on a essayé d'optimiser l'orientation et le degré d'inclinaison de toitures, dans le but de trouver l'emplacement approprié aux collecteurs solaires thermique et photovoltaïque. Les résultats ont montrés que pour tous les cas théoriques étudiés, la quantité d'énergie reçue sur les toitures surpasse largement celles marquées pour les toitures du cas d'étude. Il a été démontré également qu'il est possible d'installer les collecteurs thermiques et photovoltaïques sur chaque mètre carré de toutes les toitures étudiées (inclinaison de 0° à 45°, et orientation de l'est à l'ouest en passant par le sud). Toutefois, le rendement de ces installations sera meilleur dans le cas où les toitures qui sont orientées vers le sud avec une inclinaison de l'ordre de 30°. Pour les installations photovoltaïques, les toitures orientées vers le sud, sud-est, et sud-ouest avec les inclinaisons 15°, 30°, et 45° peuvent garantir un rendement excellent.

La troisième section exerce l'optimisation de l'exposition des façades. Ce qui va aider les architectes et les planificateurs urbains à adapter les orientations des bâtiments aux différentes stratégies solaires. A ce propos, deux paramètre d'évaluation se sont utilisé, soit : la viabilité solaire passive, et la viabilité de la lumière du jour, pour comparer les différentes expositions de façades choisies, à savoir : L'Est, le Sud-est, le sud, le sud-ouest, et l'Ouest. Les résultats ont affirmé qu'évidemment, ce sont les orientations les plus proches du sud (-45° et 45°) qui entraînent le plus fort éclairément et irradiation durant toutes les saisons de l'année. Cependant la façade sud est la plus favorable.

La fin du présent chapitre est consacré à étudier l'effet du rapport H/W sur le revenu de l'énergie solaire dont le but est de définir la distance entre les bâtiments qui doit être respectée afin d'obtenir un rendement optimale des technologies solaires. Trois valeurs du rapport H/W (4, 1, et, 0.5) désignant respectivement les formes de rues, en canyon, dièdre, et la forme dégagée ont été étudiées. C'est encore la viabilité solaire passive et celle de lumière du jour qui ont été choisies comme paramètres d'évaluation. Les formes dégagées de rues sont les formes qui ont présentées les résultats les plus optimales.

D'une manière générale, il apparaît que dans les meilleures conditions, l'énergie solaire primaire qui atteint l'enveloppe des bâtiments dépasse de loin l'énergie finale consommée.

Relativement à tous ce qui est rapporté précédemment, on est en mesure de fournir six recommandations majeures afin d'améliorer le rendement du potentiel solaire de la forme urbaine dans la ville de Batna :

1. Prévoir des bâtiments en forme de tours séparées ou en pavillons;
2. Concevoir des tissus urbains d'une faible densité ;
3. Dans le cas de deux formes ont la même densité, la forme qui aura la plus grande surface de l'enveloppe est recommandée ;
4. Pour un rendement optimal des collecteurs solaires, il est conseillé de concevoir des toitures orientées vers le sud, sud-est, et sud-ouest avec les inclinaisons 15°, 30°, et 45°. Cependant, l'orientation sud avec un degré d'inclinaison de 30° est la plus favorable;
5. L'orientation sud est préconisée pour être l'orientation principale des façades urbaines. Cependant, les orientations sud-est et sud-ouest sont encore très convenables ;
6. Pour un rendement maximal des différentes technologies solaires dans la ville de Batna, on doit construire des rues dont la largeur soit au minimum le double de la hauteur moyenne des bâtiments qui les délimitent.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La présente recherche vise à promouvoir une meilleure utilisation directe de l'énergie solaire dans un environnement urbain, et d'accentuer les effets que peut produire la forme urbaine sur le revenu de cette énergie. Dans cet essai, on a cherché aussi à évaluer le potentiel d'énergie solaire et d'éclairage naturel dans une forme urbaine représentant le nouveau quartier administratif de la ville de Batna. De plus, on a présenté à travers les quatre premiers chapitres, les différentes théories, outils, méthodes, et techniques liées à ce thème. Dans ce qui suit, nous allons présenter tout d'abord un récapitulatif des différentes conclusions acquises de la recherche théorique. Après, nous tenterons de résumer les étapes de la procédure d'évaluation et d'optimisation effectuées ainsi que les résultats obtenus. Pour conclure, nous présenterons les limites du présent travail, ses perspectives de développement, et quelques recommandations pour les recherches futures.

Du point de vue économique, la consommation énergétique par habitant dans l'Algérie se situe parmi les plus élevées au monde. De plus, les besoins croissants en énergie de toutes sortes engendrent des conséquences négatives sur l'environnement et sur la qualité de vie des habitants. À cet égard, le rayonnement solaire constitue une source d'énergie alternative qui connaît une véritable révolution à travers le monde puisqu'elle possède de nombreux avantages. De part sa situation privilégiée, notre pays dispose d'un très grand gisement solaire où le total d'énergie reçue est estimé à 5000 fois la consommation d'électricité annuelle. Cette opportunité exceptionnelle nous conduit vers une réflexion sur les possibilités d'exploitation de ce gigantesque gisement, que pour le chauffage passif et actif, la production d'électricité photovoltaïque, l'éclairage naturel, et même pour la climatisation. En effet, les nombreuses applications de l'énergie solaire, particulièrement dans le domaine du bâtiment, ne sont pas bien adaptées au contexte urbain algérien à cause de différentes raisons, parmi lesquelles s'envisage la forte densité qui met des surfaces importantes de l'ensemble urbain à l'ombre. C'est pour cette raison essentiel que nous avons décidé de chercher la meilleure configuration urbaine qui maximise et extrême le revenu des flux solaires afin d'améliorer le rendement des principaux modes de captage directe du rayonnement solaire que se soit passive ou active.

Les renseignements contenus dans ce travail ont d'abord démontré l'interface de l'homme avec le soleil et l'environnement à travers l'histoire, parfois sur un niveau mystique ou religieux et d'autrefois plus concrètement en stratégies constructives, législations, structures établies, problèmes et solutions...etc. Il a été pu être démontré qu'à travers toutes les anciennes civilisations, les accès solaires ont joué un rôle très important. L'énergie solaire était un symbole clair de confort sensuel, de luxe et de richesse qui n'ont été pas misent à la disposition de la plus large partie de population jusqu'à l'avènement de la révolution industrielle. L'homme à toujours tirer profit des biens du soleil en vue de ses plusieurs et importantes implications : énergétiques en compensant les déperditions thermiques, lumineuses comme éclairage naturel offrant un confort et un bien être ou encore esthétiques par le contrôle de la quantité et l'emplacement de la lumière afin de changer chaque instant la perception de l'espace.

La comparaison effectuée dans le premier chapitre entre l'énergie solaire et les autres sources d'énergie renouvelable a démontré que celle-ci doit davantage être employée en vue de diverses possibilités d'utilisation qu'elle présente. Les principales technologies solaires évaluées dans le premier chapitre exploitent deux formes d'énergie du Soleil : la chaleur et la lumière, et cela, de quatre façons différentes :

- L'énergie solaire thermique : est la production de chaleur ou de vapeur à partir de la chaleur du Soleil;
- l'énergie photovoltaïque est la production d'électricité par capture du rayonnement solaire ;
- l'énergie solaire passive est l'usage direct du rayonnement solaire pour produire de la chaleur.
- et enfin, la lumière du jour est utilisée directement comme source d'éclairages des espaces intérieurs et extérieurs.

L'ensevelissement des bâtiments spécialement durant la saison d'hiver a été le problème de plusieurs recherches.

Dans le domaine de l'urbanisme, l'importance des droits à l'ensevelissement dès la phase de conception est indiscutable. Le but est d'assurer l'éclairage naturel et le chauffage passif à l'intérieur des bâtiments, spécialement en hiver. L'énergie solaire est également évaluée à l'extérieur dans le but de rendre les activités humaines plus confortable. Les spécialistes dans le domaine d'architecture et d'urbanisme n'ont jamais cessé de chercher les bons moyens permettant la maîtrise de l'ensevelissement. Une bonne maîtrise de cet aspect

permet d'éviter les ombres portées de diverses obstructions environnantes. Cependant, La connaissance de la position du soleil dans le ciel à tout instant est une information nécessaire pour bien comprendre la façon d'intervention.

Pour une utilisation optimale de l'énergie solaire à un endroit, il faut non seulement connaître la position du soleil, mais aussi déterminer la quantité d'énergie solaire bloquée par les obstacles existant sur le site. Il faut donc relever les masques à l'endroit où l'on désire implanter l'installation solaire. Pour ce faire, on peut se servir de plusieurs outils de simulation: graphique analogique et numérique. C'est la question que le deuxième chapitre a tenté d'éclaircir. Nous avons présenté un état de l'art des méthodes de simulation de l'ensoleillement permettant de répondre à la question de repérage des zones ensoleillées et celles à l'ombre, à un instant donné, et à un endroit précis. Les techniques de l'informatique restent de loin les plus efficaces dans la représentation et la détermination instantanée des données d'ensoleillement en 2D ou en 3D. Les logiciels de simulation 3D sont plus adaptés à la prise en compte globale des contraintes d'ensoleillement ou de visibilité. Ils correspondent à la dernière génération d'outils de simulation solaire. Ce sont des outils qui tendent vers la simulation réaliste de la lumière naturelle grâce à des images générées par des techniques de synthèse d'images.

Le troisième chapitre est une analyse de l'effet de chaque élément de la forme urbaine sur le potentiel solaire, à travers des études effectuées à ce propos, ce qui présente un ensemble d'idées et solutions proposées par différentes recherches anciennes et récentes. Cette analyse nous permettra d'abord, de définir les différents éléments constituant la forme urbaine, ensuite leurs effets sur l'ensoleillement. Elle est d'une grande importance dans le cas de notre étude car elle constitue un moyen de définir les paramètres de la forme urbaine qui vont appuyer la sélection des cas d'étude ainsi que les paramètres de la forme urbaine à optimiser. Cette étude nous a permis de dégager les éléments clés de la forme urbaine pouvant diminuer le revenu du potentiel solaire en général et dans les moyenne latitudes en particulier, soit : la forme et la densité de bâtiments, le degré d'inclinaison des toitures, et les dimensions et l'orientation des rues. Les éléments du climat les plus affectés par la forme urbaine sont : la température, l'humidité et la vitesse et direction de l'air.

Nous avons pu déduire de cette étude l'importance particulière de l'orientation des rues ainsi que leurs dimensions déterminées par le ratio H/W, dans la définition du degré de disponibilité de la radiation solaire au niveau du sol et des façades de bâtiments. Quelques

exemples d'études réalisées dans des sites de basse ou moyenne latitude ont simulé l'effet de la forme urbaine ou de l'un de ses éléments, ont eux aussi été analysés dans ce chapitre.

L'optimisation de l'accès de la lumière naturel dans les bâtiments et la maximisation des apports énergétiques gratuits appartiennent comme cibles de plusieurs recherches durant cette dernière décennie. La raison essentielle pour laquelle ces recherches sont effectuées est la démonstration de la contribution des techniques solaires au bilan énergétique des zones urbaines. La méthode adoptée pour tous les simulations par ordinateur visant l'évaluation du potentiel solaire consiste à réaliser un modèle numérique en trois dimensions de la forme à étudier avant de l'exporter vers l'outil de simulation.

Nous avons discuté dans le quatrième chapitre quatre techniques d'évaluation exécutées dans des milieux urbains dont on a choisi et adapté une, développée par le professeur compagnon à l'université des Sciences Appliquées de la Suisse (HES-SO) dans le cadre du projet PRECis, pour l'appliquer dans le processus d'optimisation de notre recherche. Cette méthode a été suivie par l'élaboration d'un outil de simulation nommé *PPF* qui utilise les algorithmes du logiciel Radiance pour déterminer les échanges radiatifs entre la voûte céleste et le contexte urbain. Notre choix a été pris en vue de l'efficacité, de la faisabilité, et de la possibilité d'adaptation de cette méthode car, les outils accompagnant toutes les approches étudiées ne sont pas disponibles y compris l'outil de la méthode adoptée. A cet effet, on s'est trouvé obligé d'utiliser un autre outil de simulation *Solene*. Cet outil montre l'inconvénient de l'impossibilité de calculer l'énergie solaire cumulée. A cet effet, nous avons adapté un procédé qui consiste à calculer l'énergie solaire et l'éclairement lumineux cumulés durant une période donnée, à l'aide du logiciel de calcul *Excel*.

Notre procédure d'évaluation s'effectue en suivant trois principales étapes :

1. Calculer l'éclairement et l'énergie solaire globale mensuelle, saisonnière, et annuelle ;
2. Calculer les seuils ;
3. Trouver les valeurs en m² des surfaces de l'enveloppe répondant à la condition de seuil.

Nous avons décrit étape par étape les opérations d'évaluation. Cependant, Il a été possible aussi de ressortir les dimensions et les indicateurs mesurables sur terrain des deux principaux concepts mis en relation dans cette recherche, à savoir : le potentiel solaire, et la forme urbaine. On s'est dirigé par la suite vers l'élaboration de la procédure qui nous permettra l'optimisation des caractéristiques de la forme urbaine. Cette dernière consiste à

sélectionner, après la simulation, les indicateurs théoriques de la forme urbaine (forme de bâtiments, inclinaison des toitures, exposition des façades, et profil H/W) qui présentent les valeurs maximales de surfaces répondant aux conditions de seuils. Notons que ce modèle ne prend en compte que des aspects purement techniques. Or, dans le domaine des énergies renouvelables, et celui du solaire en particulier, les enjeux sont souvent d'ordre économique et social.

Le présent travail s'inscrit dans une politique qui vise à s'engager dans une nouvelle ère énergétique et lumineuse durable. L'idée est de sélectionner une forme urbaine qui -après notre intervention- va adhérer aux principes du développement durable, en évaluant le potentiel d'utilisation de l'énergie solaire (systèmes solaires passifs et actifs, l'éclairage naturel et l'intégration du photovoltaïque). A travers une analyse descriptive de la ville de Batna, on a choisi le nouveau quartier administratif comme cas d'étude. Du point de vue quantitatif, les valeurs d'ensoleillement et de l'éclairage naturel que présente le site du cas d'étude apparues suffisantes, si on les compare avec celles que représentent la plupart des cas d'études en Europe.

L'évaluation finale du potentiel solaire du cas d'étude, élaborées dans le sixième chapitre indique qu'avec une densité de 0,686 que représente la géométrie du cas d'étude, seulement 38% des façades sont éclairées naturellement durant toute l'année. Les gains solaires en hiver sont plutôt bas avec une valeur limitée à 37,65%. Autrement dit, plus de 40% des façades ne peuvent pas récompenser les pertes de chaleur dans la saison froide. Cependant, une très grande surface de façades ne convient pas à l'installation des panneaux photovoltaïque. En générale, Une partie importante de la forme étudiée ne tire pas bénéfice des irradiances et des éclairagements solaires moyens annuels qui sont techniquement et économiquement appropriées pour des technologies solaires. Cependant, l'évaluation relative aux façades et toitures appropriés, basée sur les quantités minimales exigées d'irradiation et d'éclairage, prouve qu'une partie très significative de l'enveloppe demeure appropriée pour des opérations solaires de technologie, en dépit du caractère urbain de l'emplacement. A l'exception du solaire actif, Ces résultats sont plutôt insuffisants, et peuvent être expliqués par : la présence des ombres (masques solaires), les orientations inadéquates des façades et surtout par l'impact de la forme des bâtiments qui a créer entre les deux blocs, un espace plutôt sombre.

Avant de conclure cette recherche, il est intéressant de revenir encore à l'hypothèse établie :

La forme urbaine peut améliorer considérablement le revenu de l'énergie solaire.

Cette hypothèse est analysée dans les deux derniers chapitres utilisant des exemples concrets et un cas d'étude.

La forme urbaine incluant ses deux paramètres : le paramètre géométrique, qui concerne la configuration formelle des constructions et le paramètre morphologique, en relation avec le site lui-même (orientation, implantation et situation vis-à-vis l'espace immédiat) peuvent rigoureusement améliorer la quantité d'énergie et d'éclairage reçu. Les résultats obtenus montrent des différences au niveau des valeurs de viabilités entre les diverses formes simulées et confirment la variation du potentiel solaire liée à la variation morphologique du tissu urbain. Cependant, il est impossible de dire que l'une des formes est meilleure que l'autre ; chaque forme étudiée ayant ses inconvénients et ses avantages. Toutefois, la géométrie de petite densité semble être la forme urbaine la plus optimale en termes de revenu solaire collecté durant une saison froide. En effet, il est nécessaire de tester toutes les éventuelles possibilités que peut prendre les propriétés de la forme urbaine afin de fournir une réponse appropriée à toutes les contraintes pratiques et pour améliorer la viabilité des technologies solaires.

Cette recherche a permis aussi d'évaluer le potentiel solaire disponible sur le cas d'étude. Les résultats obtenus peuvent aider à choisir les emplacements appropriés, à travers toute l'enveloppe étudiée, aux installations solaires. Il a été pu être démontré que l'enveloppe existante est fortement appropriée à l'installation des collecteurs solaires thermiques.

On est arrivé après avoir étudié l'effet de chaque caractère de la forme urbaine sur le revenu du potentiel solaire à fournir six recommandations majeures, à savoir :

1. Prévoir des bâtiments en forme de tours séparées ou en pavillons;
2. Concevoir des tissus urbains d'une faible densité ;
3. Dans le cas de deux formes ont la même densité, la forme qui aura la plus grande surface de l'enveloppe est recommandée ;
4. Pour un rendement optimal des collecteurs solaires, il est conseillé de concevoir des toitures orientées vers le sud, sud-est, et sud-ouest avec les inclinaisons 15°, 30°, et 45°. Cependant, l'orientation sud avec un degré d'inclinaison de 30° est la plus favorable;

5. L'orientation sud est préconisée pour être l'orientation principale des façades urbaines. Cependant, les orientations sud-est et sud-ouest sont encore très convenables ;

6. Pour un rendement maximal des différentes technologies solaires dans la ville de Batna, on doit construire des rues dont la largeur soit au minimum le double de la hauteur moyenne des bâtiments qui les délimitent.

« *La ressource solaire est largement disponible, mais encore faut-il se donner les moyens de la capter, de la transformer et de la valoriser !* » (Faessler, 2010, p40).

Limites de recherche :

- Il est remarqué qu'à l'exception de quelques tentatives, il n'existe pas de recherches sur l'optimisation de la forme urbaine dans les climats semi-aride. L'avantage est toujours pris par les deux cas extrêmes : la maximisation des gains solaires a cause des grands besoins en matière d'énergie solaire propre dans le climat froid ou encore la minimisation des apports solaire d'été dans le climat chaud et aride au préjudice de climat semi aride dont l'optimisation doit tenir en compte les deux cas opposés : bénéficier de l'énergie solaire au maximum en hiver et se protéger des rayons solaires indésirables avant qu'elles frappe les surfaces verticales de l'enveloppe bâti en été. Une dualité qui pose un problème sérieux aux concepteurs et suppose d'être abordée avec des outils efficaces.
- Suivant notre méthode, il est désormais impossible de prendre une forme urbaine de l'ensemble d'un quartier ou une ville. Dans le cas, les résultats vont être plus expressifs et le choix de l'emplacement des techniques solaires sera meilleur en vue de la grande surface qui sera disponible pour l'analyse, et la variété géométrique que représente un tel cas d'étude. L'outil de simulation utilisé dans cette recherche présente le problème de temps de calcul assez long : dans notre cas et avec nos puissances de calcul (Processeur de corps deux-duo, et 4 Go de RAM), nous avons mis environ 1 heures pour faire le calcul de l'énergie solaire d'un moment donné sur notre cas d'étude (environ 5% du quartier administratif).
- Notre évaluation présente aussi l'inconvénient de l'incapacité d'intégrer une année météorologique "type" avec des jours moyens par mois établis à partir de statistiques sur plusieurs années, comme avec Meteonorm. Les radiances et luminances utilisées dans le calcul ne représentent pas les vraies valeurs journalières de l'année. On a utilisé les modèles de trois jours par mois, les valeurs que représente chaque modèle de jour ont été

attribuées aux dix jours qu'il le suit. Cette procédure ne reflète pas la réalité et peut poser problème pour l'estimation correcte. Si l'on fait des estimations de potentiel pour plusieurs années de production photovoltaïque, il n'est pas forcément essentiel de mesurer une année spécifique, ce qui ne serait pas le cas pour l'utilisation de capteurs thermiques, liés spatialement et temporellement à la demande de chaleur.

- Dans la procédure d'optimisation, cette recherche a pris un, parfois deux critères d'évaluation pour chaque indicateur de la forme urbaine, soit : le critère *solaire passif* pour l'optimisation de la forme bâtie, les deux critères : *lumière du jour et solaire passif* pour l'optimisation de l'exposition des façades et du profil H/W, et les critères *solaire thermiques et photovoltaïque* pour l'optimisation de l'inclinaison des toitures. Le cas optimal sera l'évaluation utilisant les quatre critères pour chaque indicateur de la forme urbaine afin d'aboutir des résultats précis.

Perspectives de développement :

- L'application de cette étude peut être s'étaler vers d'autres secteurs géographiques à travers notre pays, notamment vers les villes de sud Algérien qui dispose d'un gigantesque potentiel prêt à être exploité.
- La procédure d'évaluation adoptée permet d'estimer le potentiel solaire mobilisable pour un quartier ou une commune et de le rattacher à des statistiques urbaines (habitants, emplois, volume des bâtiments, etc..) ; Ce dernier peut intéresser les responsables communaux ou certains gros propriétaires pour développer des programmes de développement du solaire
- N'importe quel nouveau bâtiment émet un ombre qui peut poser des problèmes d'enseulement aux bâtiments voisins, surtout ceux qui contiennent des collecteurs solaires. Dans ce cas, le rendement de ces systèmes va être réduit considérablement. Notre méthode d'évaluation peut être employée pour mesurer exactement la réduction de l'énergie disponible provoquée par cette nouvelle obstruction. Ainsi, elle peut servir à identifier les emplacements appropriés aux collecteurs et vérifier le gisement disponible avant l'application afin d'éviter les dommages économiques liés à l'intégration non contrôlée de ces systèmes.
- Estimer l'effet de la plantation d'arbres sur l'accès solaire et l'éclairage naturel à l'intérieur de bâtiments.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

Abbassen L. (2011), "étude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque". Mémoire de magistère, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou.

Achard P., Giquel R., (1992), "Energy in architecture : the european passive solar handbook". The Energy Research Group, School of Architecture. University College Dublin.

Allain R. (2004), "La morphologie urbaine". Armand Colin/SEJER. Paris, France.

Allain R. (2004), "morphologie urbaine : géographie, aménagement et architecture de la ville". Armand colin. Paris, France.

Andersena J. S., Sattrup P.A., (2011), "The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains", Energy and Buildings. 43(2011), 2011–2020.

APRUE. (2013), "Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique". Ministère de l'énergie et des mines. Société du groupe Sonelgaz. Algérie.

Arnfield J. (1990), "Street Design and Urban Canyon Solar Access". Energy and Buildings, 14 (1990) 117 – 131.

Baker N., Steemers K., (2005) "Energy and Environment in Architecture : A Technical Design Guide". Taylor & Francis Group.

Bellara S. (2005), "Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective". Mémoire de magistère, Université Menouri, Constantine.

Belliot M., et Al, (2006), "Habitat : formes urbaines, densités comparées et tendances d'évolution en France". Fédération nationale des agences d'urbanisme. 75007 Paris, France.

Benlatreche T. (2006), "Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics". Mémoire de magistère, Université Mentouri, Constantine, Algérie.

Boubekri M. (2008), "Daylighting, Architecture and Health : Building Design Strategies. Architectural Press.

Boucheriba F., "impact de la géométrie des canyons urbains sur le confort thermique extérieur". Mémoire de magistère, Université mentouri Constantine, Algérie.

Bourbia F., Boucheriba F., (2010), "Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine) ". Renewable Energy 35 (2010).

Bouvier F. (1988), "Eclairage naturel, traité construction". Technique de l'ingénieur. CIII3, Paris.

- Bouyer J. (2009)**, "Modélisation et simulation des microclimats urbains, Étude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments". Thèse de doctorat, École polytechnique de l'Université de Nantes, France.
- Capderou M. (1985)**, "Atlas solaire de l'Algérie". Tome 2. Office des publications universitaires. p 62-68.
- Carosio A. (1999)**, "La troisième dimension dans les systèmes d'information géographique et la mensuration officielle. "Textes rassemblés de la journée d'étude du 14 octobre 1999". Institut fédéral suisse de technologie, Zurich.
- CERMA. (1998)**, "logiciel de simulation d'ensoleillement, d'éclairage et de rayonnement. Guide d'utilisation Solene". Ecole d'architecture de Nantes, France.
- CETE. (2005)**, "fiche technique : étude de l'ensoleillement d'un site". centre d'études techniques de l'équipement de Lyon, France.
- Cheng V., Steemers K., Montavon M., et Compagnon R., (2006)**, "Urban Form, Density and Solar Potential". "In Proceedings PLEA2006, 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture". 6-8 September.
- Cliff Moughtin C. (2003)**, "urban design: street and square". Third edition. Architectural Press.
- Compagnon R. (2000)**, "PRECis: Assessing the Potential for Renewable Energy in Cities". "Final Technical Report: Solar and daylight availability in urban areas". Fribourg University of Applied Sciences of Western Switzerland (HES-SO).
- Compagnon R. (2004)**, "Solar and daylight availability in the urban fabric". Energy and Buildings. 36(4): 321-328.
- Dib B., Baghiani L., Saidi T., Barrou D., (2006)**, "La pollution dans les quartiers informels : Effet des Déchets et Eaux Usées sur l'Homme et son Environnement, -cas du Quartier Bouakal- Batna". "Rapport final d'un projet de recherche CNEPRU". Département d'Architecture de l'université de Batna, Algérie.
- Dris N. (2005)**, "Formes urbaines, sens et représentations : l'interférence des modèles". Espaces et sociétés, 3, 122, p. 87-98.
- Edwards B., Sibley M., Hakmi M., and Land P., (2006)**, "courtyard Housing : Past, Present and Future". Edition of Taylor & Francis group , Adobe Reader Format.
- Faessler J. (2010)**, "Evaluation du potentiel solaire en milieu urbain : essais d'application aux toitures du canton de Genève". Institut des sciences de l'environnement. Université de Genève, Suisse.

Funk D. (2010), "l'énergie solaire : circonstances et conditions d'exploitation au Québec". Mémoire pour l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.), Centre universitaire de formation en environnement, Université de Sherbrooke, Canada.

Givoni B. (1978), "L'homme, l'architecture et le climat". Édition Moniteur, Paris.

Gonzalo R., Habermann K.J., (2006), "architecture et efficacité énergétique : principes de conception et de construction". Birkhauser, Berlin.

Goujet M. (2007), "Lumières d'Architectes, Lumières de Cinéastes". Mémoire de fin d'études, ENS Louis lumière.

Goulding J. R., Lewis J. O., Steemers T. C. (1986), "Energy in architecture : the European passive solar handbook". Batsford for the Commission of the European Communities, London.

Groleau D. (2000), "Solene : Un outil de simulation des éclairagements solaires et lumineux dans les projets architecturaux et urbains". Les professionnels de la construction, confort intérieur : outil d'aide à la conception et à la prévision du confort thermique, acoustique et d'éclairage ; Etude de cas, Rouen, 10-11 fév 2000, CERMA.

Grosso M. (1998), "Urban form and renewable energy potential". Renewable Energy 15 (1998) 331-336.

Guerbazi T., Hamraoui S., (2011), "Intervention urbaine au centre ville de Batna". Mémoire de fin d'études, département d'architecture de l'université de Batna, Algérie.

Harouadi F., Mahmah B., Belhamel M., Chader S., M'Raoui A., et Etievant C., (2007), "Les potentialités d'exploitation d'hydrogène solaire en Algérie dans un cadre euro – maghrébin, Partie I: Phase d'étude d'opportunité et de faisabilité". Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2. p 181 – 190.

Houpert S. (2003), "Approche inverse pour la résolution de contraintes solaires et visuelles dans le projet architectural et urbain : développement et application du logiciel SVR". Thèse de doctorat, école doctorale mécanique, thermique et génie civil, Université de Nantes, France.

Izard J.L. (1994), "Maîtrise des ambiances, contrôle de l'ensoleillement et de la lumière en architecture", École d'architecture de Marseille-Luminy, France.

Jenks M., Burgess R., (2004), "Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries", Spon Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, France.

Jenks M., Jones C., (2010), "Dimensions of the Sustainable City", Springer Dordrecht Heidelberg London New York, (2010).

Jenks M., Nicola Dempsey N., (2005), "Future Forms and Design for Sustainable Cities". Elsevier edition, 2005. P 371-372.

- Kalla M., Dridi H., Merdassi A., et Habibi Y., (2011)**, "La circulation dans la ville de Batna (Est algérien) : réalité et perspectives, approche par les sig". FIG Working Week 18-22 May 2011 in Marrakech, Morocco.
- Kampf J. H., Robinson D., (2009)**, "A hybrid CMA-ES and HDE optimisation algorithm with application to solar energy potential". *Applied Soft Computing* 9 (2009) 738–745.
- Kedissa C. (2010)**, "Impact de la géométrie des espaces extérieurs sur le microclimat urbain". Mémoire de magistère, Université Mentouri, Constantine, Algérie.
- Knobel R. C., et Al., (1991)**, "Soleil et architecture: Guide pratique pour le projet". Programme d'action PACER – Energies renouvelables. Office fédéral des questions conjoncturelles, 3003 Berne.
- Krüger E.L., Minella F.O., Rasia F., (2011)**, "Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba Brazil". *Building and Environment* 46 (2011) 621-634.
- Kristl Z., Krainer A., (2001)**, "energy evaluation of urban structure and dimensioning of building site using iso-shadow method". *Solar Energy* Vol. 70, No. 1, pp. 23–34.
- Lau K.L., Ng E., He Z.J., (2011)**, "Residents preference of solar access in high-density subtropical cities", *Solar Energy* 85 (2011) 1878–1890.
- Lévy A. (2005)**, "Formes urbaines et significations : revisiter la morphologie urbaine", *Espaces et sociétés*, 4 no 122, p. 25-48.
- Liébard A., et De Herde A., (2005)**, "Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, concevoir, édifier et aménager avec le développement durable". Editeur. Obsev'ER, Paris.
- Littlefair P. (1998)**, "Passive solar urban design: ensuring the penetration of solar energy into the city". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2,(1998) pp 303-326.
- Littlefair P. J., et Al, (2000)**, "Environmental site layout planning: solar access, microclimate and passive cooling in urban areas". BRE publications.
- Maignant G. (2003)**, "Compacité et forme urbaine, une analyse environnementale dans la perspective d'un développement urbain durable". Document PDF.
- Mardaljevic J., et Rylatt M., (2003)**, "Irradiation mapping of complex urban environments: an image-based approach". *Energy and Buildings* 35 (2003) 27–35.
- Marta J.N., Oliveira P., Helder J.P., Gonçalves P., Ferrão M.C., (2008)**, "Optimization of the urban building efficiency potential for mid-latitude climates using a genetic algorithm approach". *Renewable Energy* 33 (2008) 887–896.
- Mazouz S. (2009)**, cour de post-graduation. Conception architecturale. Option architecture, formes, ambiances et développement durable, université de Biskra, Algérie.

- Meier W., Miserez J.P., Schmassmann E., Murer P., et Wirth B., (2005),** "La troisième dimension dans la mensuration officielle". Systèmes d'information du territoire. Géomatique Suisse 6/2005 p 364.
- Michelet V., Grimaud Q., Gygli M., (2011),** " Lance de Rayon -Ray tracing". Project SI4 Semestre 2, université Nice-Sophia antipolis.
- Mignot P. (2003),** "Principes de synthèse d'images". Mémoire de fin d'études, maîtrise d'informatique, université de Reims.
- Miguet F. (2000),** "Paramètres physiques des ambiances architecturales : Un modèle numérique pour la simulation de la lumière naturelle dans le projet urbain". Thèse de doctorat, École polytechnique de l'Université de Nantes, France.
- Miguet F., Groleau D., (2002),** "A daylight simulation tool for urban and architectural spaces— application to transmitted direct and diffuse light through glazing". Building and Environment 37. P 833 – 843.
- Miguet F., Paule B., (2010),** "Soleil et architecture: Potentiel climatique, techniques des ingénieurs". Editions T.I.
- Minh B.N. (2005),** "Synthèse d'images réalistes couplant lancer de rayons et radiosité". Rapport de travail d'intérêt personnel encadré, Institut de la Francophonie pour l'informatique, Hanoi, Viêt Nam.
- Mohsen M.a. (1979),** "Solar Radiation and Courtyard House Forms II: Application of the Model". Building and Environment, Vol 14, (1979), pp. 185-201
- Montavon M. (2010),** "*Optimisation of Urban Form by the Evaluation of the solar potential*". Thèse de doctorat, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse.
- Montavon M., Scartezzini J.L., et Compagnon R., (2004),** "Comparison of the solar energy utilisation potential of different urban environments". In Proceedings PLEA 2004, 21st International Conference on Passive and Low Energy Architecture. 19-22 September, Eindhoven, The Netherlands.
- Montavon M., Scartezzini J.L., et Compagnon R., (2004),** "Solar energy utilisation potential of three Swiss urban sites". In Proceedings 13th Status-Seminar Energie und Umweltforschung im Bauwesen. 9- 10 September, Zürich, Switzerland.
- Moumni A. (2009),** "Systèmes à conversion Thermique de l'énergie solaire". Cour de post-graduation. Option architecture, formes, ambiances et développement durable, Université de Biskra, Algérie.
- Muhaisen A.S. (2006),** "Shading simulation of the courtyard form in different climatic regions". Building and Environment 41 1731–1741.

Nikolopoulou M. (2004), "Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: une approche bioclimatique". Projet RUROS, France.

Oke T. R. (1988), "Street Design and Urban Canopy Layer Climate". *Energy and Buildings*, 11 (1988) 103 – 113.

Okeil A. (2004), "In Search for Energy Efficient Urban Forms: The Residential Solar Block". Cinquième conférence international sur la qualité de l'air intérieur, "ventilation et conservation d'énergie dans les bâtiments", Toronto.

Orti Rachel., (1997), "Radiosité Dynamique 2D et Complexe de Visibilité". Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble.

Ouameur F.A. (2007), "Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics". Mémoire pour l'obtention du grade (M.Sc), Université Laval Québec, Canada.

Paule B. (2007), "Espace et lumière: Le projet d'éclairage". EPFL-ENAC, Suisse.

Pfund M. (1999), "Modélisation géométrique d'objets tridimensionnels dans les 43 systèmes d'information géographique. Dans La troisième dimension dans les systèmes d'information géographique et la mensuration officielle". "Textes rassemblés de la journée d'étude du 14 octobre 1999". Institut fédéral suisse de technologie, Zurich.

Prianto E., Houpert S., Depecker P., et Peneau J.P., (2000), "Contribution of numerical simulation with solene* to find out the traditional architecture type of cayenne – guyane France". *International Journal on Architectural Science*. Volume 1, Number 4, p.156-180.

Ratti C., Raydan D., Steemers K., (2003), "Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate". *Energy and Buildings*. 35 49-59

Raynaud D. (1999), "Forme urbaine: une notion exemplaire du point de vue de l'épistémologie des sciences sociales". Actes du Colloque LOUEST. CNRS UMR 7544, Paris, L'Harmattan, pp. 93-120.

Riedo M., (1999), "Logiciels de SIG pour la gestion, le traitement et la visualisation de données 3D géographiques tridimensionnelles. Dans La troisième dimension dans les systèmes d'information géographique et la mensuration officielle". "Textes rassemblés de la journée d'étude du 14 octobre 1999", Institut fédéral suisse de technologie, Zurich.

Roaf S., Fuentes M., Thomas S., (2001), "ecohouse: a design guide", Architectural Press.

Sami-Mecheri S., Hamid A., Ait Messaoudenne N., et Belhamel M., (2003), "Etude de la Rentabilité d'une Installation Solaire de Chauffage d'Eau Collective Application à Différents Sites Algériens". *Rev. Energ. Ren. : 11èmes Journées Internationales de Thermique*, p.53-57.

Scartezzini J.L., Compagnon R., (2001), "SOLURBAN: Optimisation du potentiel d'utilisation de l'énergie solaire en milieu urbain". Rapport annuel. Laboratoire d'Énergie

Solaire et de Physique du Bâtimentl. Office fédéral de l'énergie OFEN, Bâtiment LESO, EPF – Lausanne, 1015 Lausanne, Suisse.

Scartezzini J.L., Montavon M., et Compagnon R., (2002), "Computer evaluation of the solar energy potential in an urban environment". EuroSun2002, Bologna, Italy.

Scartezzini J.L., Montavon M., Compagnon R., (2001), "SOLURBAN : Optimisation du potentiel d'utilisation de l'énergie solaire en milieu urbain". Rapport annuel. Laboratoire d'Énergie Solaire et de Physique du Bâtimentl. Office fédéral de l'énergie OFEN, Bâtiment LESO, EPF – Lausanne, 1015 Lausanne, Suisse.

Siret D. (2002), "Ensoleillement et CAO". Manuscrit auteur. IBPSA France, Saint-Denis-la-Plaine (93). France.

Siret D. (1997), "Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural : Application à l'ensoleillement". Thèse de doctorat, école d'architecture de Nantes, France.

Siret D., Harzallah A., (2006), "Architecture et contrôle de l'ensoleillement". IBPSA France 2006 à La Réunion – 2&3.

Szokolay S.V. (2007), "solar geometry". PLEA notes, Passive and Low Energy Architecture International.

Topaloğlu B. (2003), " solar envelope and form generation in architecture". Thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences, the middle east technical university.

Trenkle R. (1988), "The Absorption of Solar Energy in a Courtyard", Energy and Buildings, 11 (1988) 309-317.

Ubifrance., les Missions Economiques., (2010), "Les énergies renouvelables en Algérie". Fiche de synthèse. Version n°2 du 14 juillet 2010.

Viala L. (2005), "Contre le déterminisme de la forme urbaine, une approche totale de la forme de la ville". Espaces et sociétés 2005/3, 122, p. 99-114. P99.

Vinet J. (2000), "Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs", Thèse de doctorat, École polytechnique de l'Université de Nantes. France.

Yezioro A., Shaviv E., (1994), " "SHADING " :Analyzing mutual shading among buildings". Faculty of architecture and town planning. Technion- Israel institute of technology. Haifa, Palestine.

Zemmouri M., "évaluation des ambiances climatiques dans les ensembles d'habitation". Mémoire de magistère, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie.

MAGAZINES

Fiche pratique de sécurité ED 82, "l'éclairage naturel". Tiré à part de l'article publié dans la revue mensuelle *Travail et sécurité*, (2000).

La lettre d'information du (GIF), "lumière", N° 3, 2e trimestre (2012).

Public Technology Inc, "sustainable building technical manual : Green Building Design, Construction, and Operations " (1996).

SITES INTERNET :

- ◆ <http://www.aprue.org.dz/>
- ◆ <http://ancienthistory.about.com/od/sungodsgoddesses/a/070809sungods.htm>
- ◆ http://anjoumadagascar.free.fr/projet_solaire.ht
- ◆ <http://astro.unl.edu/classaction/browser.html>
- ◆ <http://audience.cerma.archi.fr>
- ◆ [http://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity_\(computer_graphics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity_(computer_graphics))
- ◆ [http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_\(graphics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_(graphics))
- ◆ <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>
- ◆ <http://fr.wikipedia.org/wiki/Batna>
- ◆ <http://fr.wikipedia.org/wiki/Radiosit%C3%A9>
- ◆ http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ographie_de_Batna
- ◆ <http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9>
- ◆ <http://fr.wikipedia.org/wiki/Soleil>
- ◆ www.satel-light.com
- ◆ <http://www-energie.arch.ucl.ac.be>
- ◆ <http://www.maxisciences.com/%E9nergie-solaire>
- ◆ http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr

Annexe 01

I. Les données climatiques de la zone d'étude :

I.1. Le diagramme solaire correspond à la latitude 35° :

A. Projection équidistante horizontales :

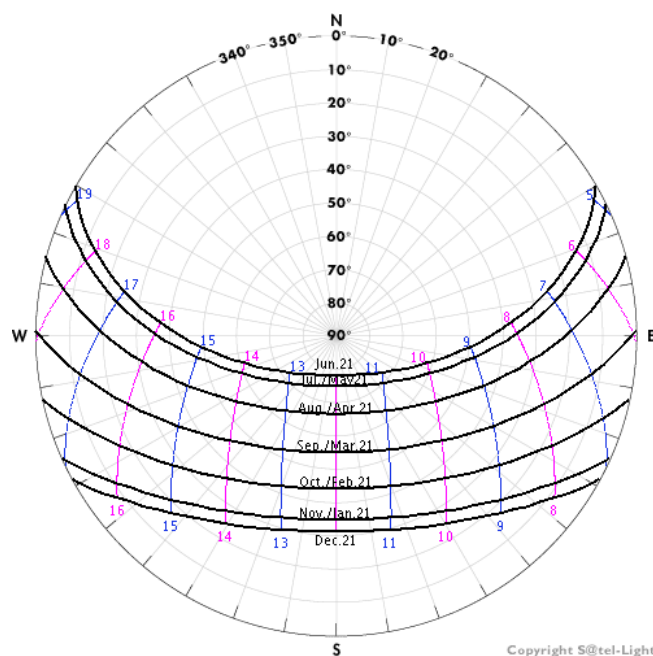


Figure 1.1. Le diagramme solaire, projection équidistante horizontales correspond à latitude de la wilaya de Batna.

Source : [online] URL : www.satel-light.com. (Consulté le : 22 février 2013)

B. Projection équidistante verticale :

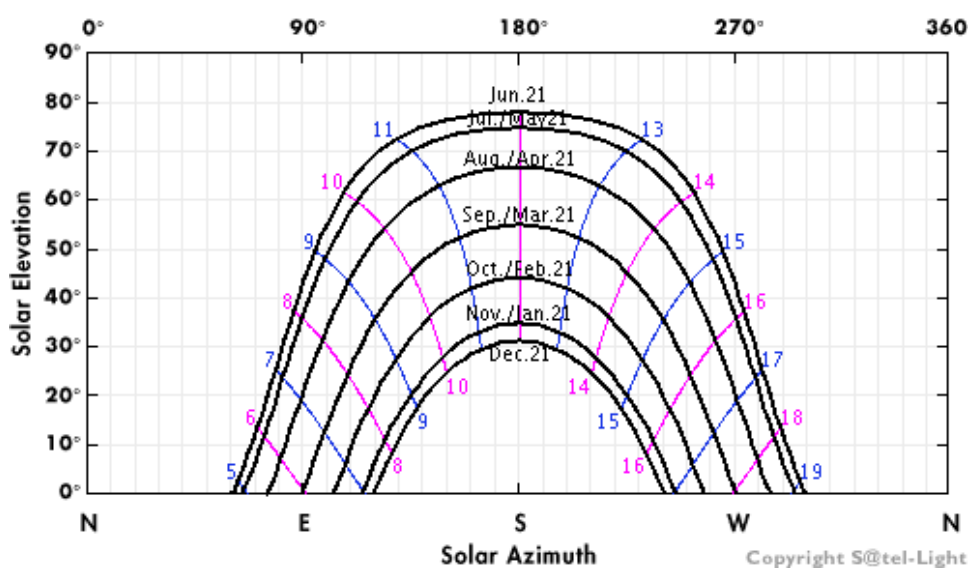


Figure 1.2. Le diagramme solaire, projection équidistante verticale correspond à latitude de la wilaya de Batna.

Source: [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)

I.2. L'irradiation mensuelle :

A. L'irradiation directe :

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
5-6	0	0	0	0	3	6	3	0	0	0	0	0	1
6-7	0	0	1	17	49	67	55	29	7	1	0	0	19
7-8	0	5	42	101	162	194	182	148	74	45	9	1	81
8-9	25	59	151	228	302	348	339	308	201	162	70	38	186
9-10	94	150	283	348	441	489	494	474	338	282	152	117	306
10-11	162	227	395	455	543	600	621	603	450	383	227	187	405
11-12	210	288	457	521	594	646	707	696	520	442	280	239	468
12-13	239	308	474	526	586	647	738	709	513	415	293	259	477
13-14	215	289	449	487	534	621	697	665	471	379	267	238	444
14-15	169	262	389	412	451	527	622	576	387	300	203	181	374
15-16	112	190	288	319	344	421	499	442	286	200	121	105	278
16-17	48	109	189	218	236	306	364	305	174	100	42	33	178
17-18	6	31	78	106	133	179	218	162	68	19	2	1	84
18-19	0	1	9	24	43	71	85	48	9	0	0	0	24
19-20	0	0	0	0	3	8	11	2	0	0	0	0	2

Tableau 1.1. L'irradiation directe en (W/M^2) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000.

Source: [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)

B. L'irradiation diffuse:

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
5-6	0	0	0	0	7	11	7	1	0	0	0	0	2
6-7	0	0	4	30	57	63	56	35	17	4	0	0	22
7-8	3	14	48	85	109	109	100	81	75	48	21	5	58
8-9	48	66	101	132	154	142	137	116	127	95	72	49	103
9-10	95	112	140	165	185	168	161	141	161	133	114	90	139
10-11	131	143	164	180	209	189	173	154	183	157	136	118	161
11-12	153	165	181	192	226	202	178	160	195	171	152	133	176
12-13	164	174	196	203	239	216	185	174	216	192	157	139	188
13-14	159	176	198	210	237	220	187	185	214	184	149	134	188
14-15	141	160	187	203	233	217	184	185	200	161	133	121	177
15-16	111	137	160	181	209	203	174	167	177	131	101	92	154
16-17	69	97	121	147	171	170	154	144	135	87	57	50	117
17-18	18	46	73	98	119	127	120	101	78	32	9	6	69
18-19	0	3	18	41	61	73	74	52	19	0	0	0	29
19-20	0	0	0	1	10	21	21	6	0	0	0	0	5

Tableau 1.2. L'irradiation diffuse en (W/M^2) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000.

Source: [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)

C. L'irradiation globale:

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
5-6	0	0	0	0	10	17	10	1	0	0	0	0	3
6-7	0	0	5	47	106	130	111	64	24	5	0	0	41
7-8	4	19	90	186	271	303	282	228	150	93	30	7	139
8-9	73	125	253	359	456	491	476	423	328	257	142	87	290
9-10	189	261	423	513	627	657	655	615	499	415	266	206	445
10-11	292	369	558	635	751	789	794	757	633	539	363	305	567
11-12	363	454	638	713	820	849	884	856	715	613	432	372	643
12-13	403	482	670	729	825	863	923	883	730	607	450	398	665
13-14	374	466	647	697	771	840	885	849	686	563	416	373	632
14-15	310	422	576	615	684	744	806	761	588	460	336	302	551
15-16	222	327	448	500	552	624	673	609	463	331	222	197	431
16-17	117	206	311	364	407	477	519	448	309	187	99	83	295
17-18	24	78	152	204	252	306	339	263	146	51	11	7	153
18-19	0	4	26	65	105	144	159	100	28	1	0	0	53
19-20	0	0	0	1	12	30	32	8	0	0	0	0	7

Tableau 1.3. L'irradiation globale en (W/M^2) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000.

Source: [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)

I.3. L'illumination mensuelle :A. L'illumination directe:

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
5-6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
6-7	0.0	0.0	0.1	1.2	4.2	6.0	4.7	2.2	0.4	0.1	0.0	0.0	1.6
7-8	0.0	0.3	3.4	9.6	16.3	20.0	18.6	14.6	7.0	3.7	0.6	0.1	7.9
8-9	1.8	5.1	14.8	23.4	31.9	37.2	36.2	32.6	20.9	16.1	6.2	2.9	19.2
9-10	8.8	14.8	29.2	36.7	47.3	53.0	53.6	51.3	36.3	29.5	15.2	11.0	32.3
10-11	16.1	23.3	41.5	48.5	58.5	65.2	67.7	65.8	48.8	40.9	23.5	18.8	43.3
11-12	21.5	30.0	48.4	55.7	64.2	70.5	77.2	76.1	56.6	47.5	29.4	24.4	50.2
12-13	24.5	32.2	50.3	56.3	63.4	70.5	80.6	77.6	56.0	44.7	30.8	26.7	51.3
13-14	22.1	30.2	47.6	52.1	57.7	67.7	76.2	72.7	51.4	40.7	27.9	24.4	47.7
14-15	17.0	27.2	41.1	43.9	48.6	57.4	67.9	62.8	42.1	31.9	20.9	18.1	40.0
15-16	10.8	19.3	30.0	33.7	36.9	45.6	54.2	48.0	30.8	20.7	11.8	9.9	29.4
16-17	4.1	10.5	19.1	22.5	25.0	32.8	39.2	32.6	18.2	9.6	3.5	2.6	18.4
17-18	0.4	2.4	7.1	10.2	13.5	18.6	22.8	16.5	6.4	1.4	0.1	0.1	8.3
18-19	0.0	0.0	0.5	1.8	3.8	6.6	7.9	4.2	0.6	0.0	0.0	0.0	2.1
19-20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

Tableau 1.4. L'illumination directe en (Klux) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000.

Source: [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)

A. L'illumination diffuse:

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
5-6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.5	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
6-7	0.0	0.0	0.5	3.8	7.3	8.3	7.4	4.7	2.1	0.4	0.0	0.0	2.9
7-8	0.4	1.7	6.2	10.7	13.8	14.0	13.0	10.9	9.5	6.3	2.6	0.6	7.5
8-9	5.8	8.3	12.9	16.4	19.2	18.1	17.5	15.1	15.9	12.3	9.1	6.3	13.1
9-10	11.7	13.8	17.6	20.5	23.0	21.2	20.3	18.2	20.1	16.9	14.2	11.4	17.4
10-11	16.0	17.6	20.4	22.3	25.8	23.7	21.9	19.8	22.8	19.7	16.9	14.7	20.1
11-12	18.6	20.2	22.4	23.9	27.9	25.3	22.5	20.6	24.3	21.4	18.8	16.6	21.9
12-13	20.0	21.3	24.1	25.1	29.4	26.9	23.4	22.2	26.7	23.7	19.4	17.3	23.3
13-14	19.3	21.5	24.3	25.8	29.1	27.3	23.6	23.3	26.4	22.8	18.4	16.7	23.2
14-15	17.1	19.6	22.9	24.8	28.5	26.8	23.1	23.3	24.7	19.9	16.4	15.1	21.9
15-16	13.5	16.8	19.7	22.2	25.5	25.1	21.8	21.0	21.7	16.4	12.6	11.5	19.0
16-17	8.5	12.0	15.1	18.0	20.8	21.1	19.4	18.1	16.7	11.1	7.1	6.2	14.5
17-18	2.1	5.8	9.3	12.2	14.7	15.9	15.3	13.0	9.8	4.1	1.0	0.7	8.7
18-19	0.0	0.4	2.2	5.1	7.6	9.3	9.6	6.8	2.4	0.1	0.0	0.0	3.6
19-20	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	2.6	2.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6

Tableau 1.5. L'illumination diffuse en (Klux) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000.

Source: [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)

A. L'illumination globale:

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
5-6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.8	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
6-7	0.0	0.0	0.5	5.0	11.5	14.3	12.1	6.9	2.6	0.5	0.0	0.0	4.5
7-8	0.4	2.0	9.6	20.3	30.1	34.0	31.6	25.5	16.5	10.0	3.1	0.7	15.4
8-9	7.6	13.4	27.6	39.8	51.1	55.3	53.6	47.8	36.8	28.4	15.4	9.2	32.3
9-10	20.5	28.6	46.7	57.2	70.3	74.1	73.9	69.5	56.4	46.5	29.4	22.4	49.7
10-11	32.1	40.8	61.9	70.8	84.3	89.0	89.6	85.6	71.6	60.6	40.4	33.5	63.5
11-12	40.1	50.3	70.8	79.6	92.1	95.8	99.7	96.6	81.0	68.9	48.2	41.0	72.1
12-13	44.5	53.5	74.4	81.5	92.8	97.5	###	99.8	82.7	68.4	50.2	43.9	74.6
13-14	41.3	51.7	71.9	78.0	86.8	95.0	99.8	96.0	77.8	63.4	46.3	41.1	70.9
14-15	34.2	46.7	64.0	68.8	77.2	84.2	91.0	86.1	66.7	51.8	37.3	33.2	61.9
15-16	24.3	36.1	49.7	55.9	62.3	70.7	76.0	69.0	52.5	37.1	24.4	21.4	48.4
16-17	12.6	22.5	34.2	40.5	45.8	53.9	58.6	50.7	34.8	20.6	10.6	8.8	32.9
17-18	2.5	8.2	16.4	22.4	28.2	34.5	38.1	29.5	16.2	5.5	1.2	0.7	17.0
18-19	0.0	0.4	2.8	6.9	11.4	16.0	17.6	11.0	3.0	0.1	0.0	0.0	5.8
19-20	0.0	0.0	0.0	0.1	1.3	3.2	3.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7

Tableau 1.6. L'illumination globale en (Klux) du plan horizontal pour la latitude de la wilaya de Batna durant les années de 1996 à 2000.

Source: [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)

I.4. degrés jour :

TR (F°)	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	évaluation (%)
Jan	491	521	551	582	613	643	674	705	736	767	798	829	860	0.3
Fév	448	474	501	528	555	583	611	639	667	695	723	751	779	0.2
Mar	320	345	370	396	422	449	476	504	533	561	591	620	650	0.4
Avr	180	200	219	240	261	284	306	330	354	378	404	429	456	0.2
Mai	81	94	107	122	137	153	170	187	206	226	246	267	289	2
Juin	10	14	18	24	30	38	46	55	65	75	87	99	112	0.5
Juil	1	1	2	3	4	5	8	10	14	18	23	28	35	0.6
Aout	0	1	1	2	4	6	8	12	16	20	27	33	41	1
Sept	16	21	27	34	42	50	60	70	82	95	110	124	140	1
Oct	97	112	128	145	162	181	201	221	243	265	289	313	338	2
Nov	252	276	300	325	351	378	405	432	460	488	517	546	575	2
Déc	456	485	514	543	573	603	633	664	694	725	755	786	817	0.5
Total	2352	2544	2738	2944	3154	3373	3598	3829	4070	4313	4570	4825	5092	0.9

Tableau 1.7. degré-jour de chauffe (en fahrenheit) basés sur les températures moyennes des 5 ans (2008 à 2012).

Source: [online] URL : www.degreedays.net utilisant des données de la température de www.wunderground.com (Consulter le 7 février 2013).

I.5. Etat de ciel :

A. Fréquence mensuelle de chaque type de ciel :

	Ciel clair					Partiellement couvert					Near-overcast Skies				
	6H	9H	12H	15H	18H	6H	9H	12H	15H	18H	6H	9H	12H	15H	18H
Jan	n/a	28.89	22.29	24.63	n/a	n/a	26.54	21.70	18.18	n/a	n/a	44.57	56.01	57.18	n/a
Fév	n/a	29.26	27.49	26.21	n/a	n/a	26.85	16.88	15.59	n/a	n/a	43.89	55.63	58.20	n/a
Mar	n/a	36.66	29.62	24.63	n/a	n/a	16.42	14.22	13.49	n/a	n/a	46.92	56.16	61.88	n/a
Avr	31.25	35.15	28.79	22.27	n/a	31.55	17.58	13.33	13.33	n/a	37.20	47.27	57.88	64.39	n/a
Mai	36.66	38.71	25.95	21.85	n/a	27.86	16.86	18.77	18.33	n/a	35.48	44.43	55.28	59.82	n/a
Juin	49.09	54.85	41.21	28.48	n/a	24.09	16.82	18.48	22.88	n/a	26.82	28.33	40.30	48.64	n/a
Juil	69.65	71.11	60.41	43.26	n/a	20.09	14.96	18.91	27.86	n/a	10.26	13.93	20.67	28.89	n/a
Aout	64.58	61.29	44.72	31.09	n/a	21.03	18.33	24.78	29.47	n/a	14.39	20.38	30.50	39.44	n/a
Sep	n/a	45.15	29.55	23.94	n/a	n/a	21.06	26.82	24.85	n/a	n/a	33.79	43.64	51.21	n/a
Oct	n/a	30.65	21.70	21.99	n/a	n/a	30.06	23.02	23.75	n/a	n/a	39.30	55.28	54.25	n/a
Nov	n/a	25.91	21.21	23.33	n/a	n/a	29.24	23.79	20.45	n/a	n/a	44.85	55.00	56.21	n/a
Déc	n/a	30.35	22.29	25.95	n/a	n/a	26.68	22.87	19.06	n/a	n/a	42.67	54.84	54.99	n/a

Tableau 1.8. Fréquence mensuelle de chaque type de ciel pour la wilaya de Batna basé sur les pourcentages moyens des 22 ans (Juil 1983 - Juin 2005).

Source: [online] URL : <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse> (Consulter le 22 février 2013).

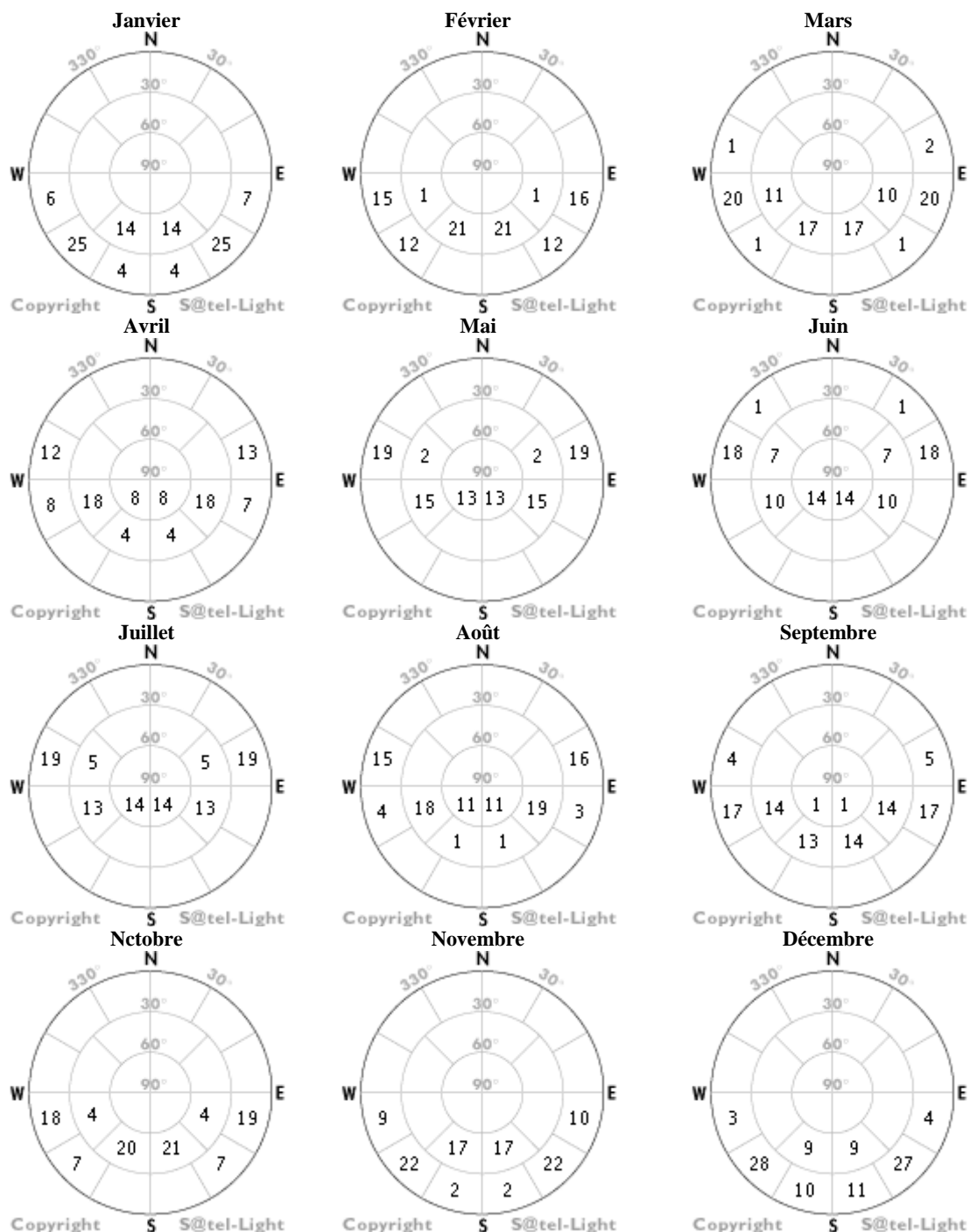
B. La durée de soleil dans chaque zone de ciel:

Figure 4.3. Les différentes durées du soleil dans chaque zone de ciel durant les années 1996/2000.
 Source: [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)

Lat 35.55 Lon 6.17	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	6.39	8.08	11.5	15.2	20.8	26.1	29.1	28.6	23.5	18.4	12.2	7.85	17.3
Minimum	2.72	3.50	6.38	9.80	15.3	20.8	23.7	23.5	18.6	14.0	8.53	4.42	12.6
Maximum	10.7	13.2	17.0	20.9	26.3	31.3	34.4	33.8	28.3	23.1	16.4	11.9	22.3

Tableau 1.9. Les températures moyennes mensuelles à 10m de la surface de la terre en C° pour la ville de batna (latitude 35.55°Nord, longitude 6.17°Est).

Source: [online] URL : www.satel-light.com (Consulté le : 22 février 2013)

Annexe 02

1. La Ville de Banta

1.1. Carte de la Ville de Banta

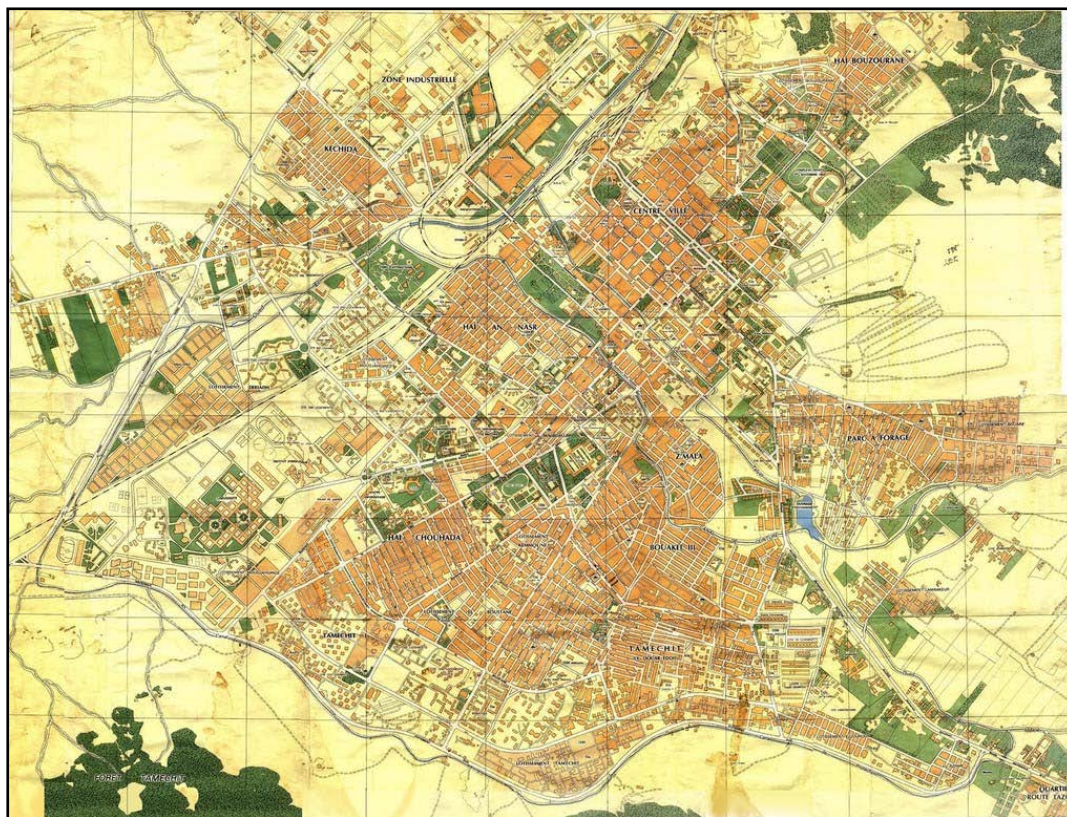


Figure 2.1. Carte de la ville de Batna.

1.2. Sectorisation de la Ville de Batna

secteur	identification	Superficie (ha)	%
01	Centre ville	225.52	6.64
02	Quartiers Anciens	112.26	3.31
03	Bouakel	223.33	6.28
04	Kechida	349.19	10.29
05	Parc à fourrage	437.4	12.89
06	Bouזורane	239.83	7.07
07	Chouhada	142.88	4.21
08	Route de Tazoult	282.85	8.33
09	ZHUNI	330.77	9.74
10	ZHUNII	445.42	13.12
11	Zone industrielle	458.51	13.51
12	Zone militaire	156.01	4.6
Total		3370,97	99,99

Tableau 2.1. Sectorisation de la ville de Batna.
Source: (Dib, et Al, 2006).

2. Le quartier administratif

2.1. Levé topographique :

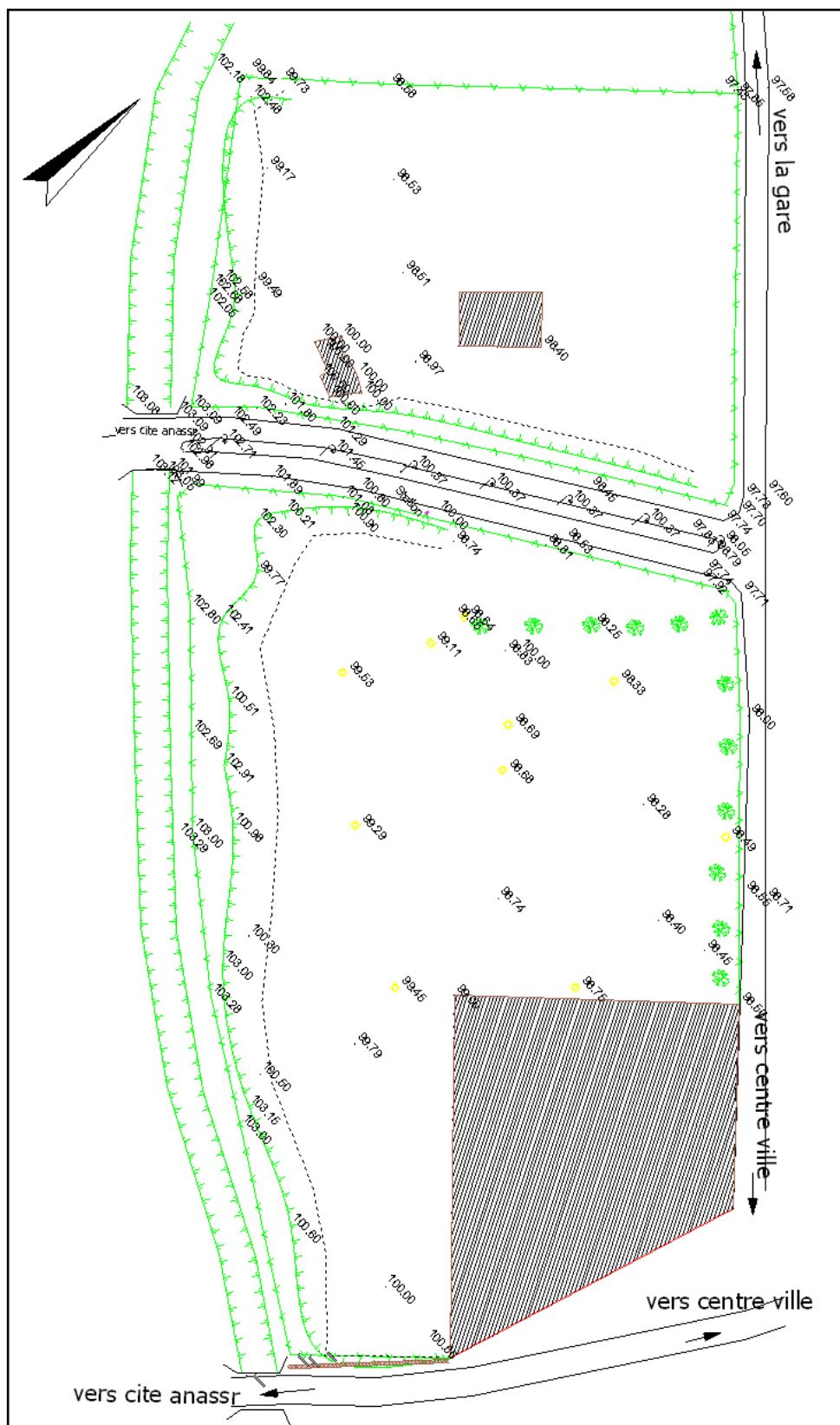


Figure 2.2. Site du quartier administratif. Levé topographique. Source: *BET. Tafast Hacem*

2.2. Plan parcellaire

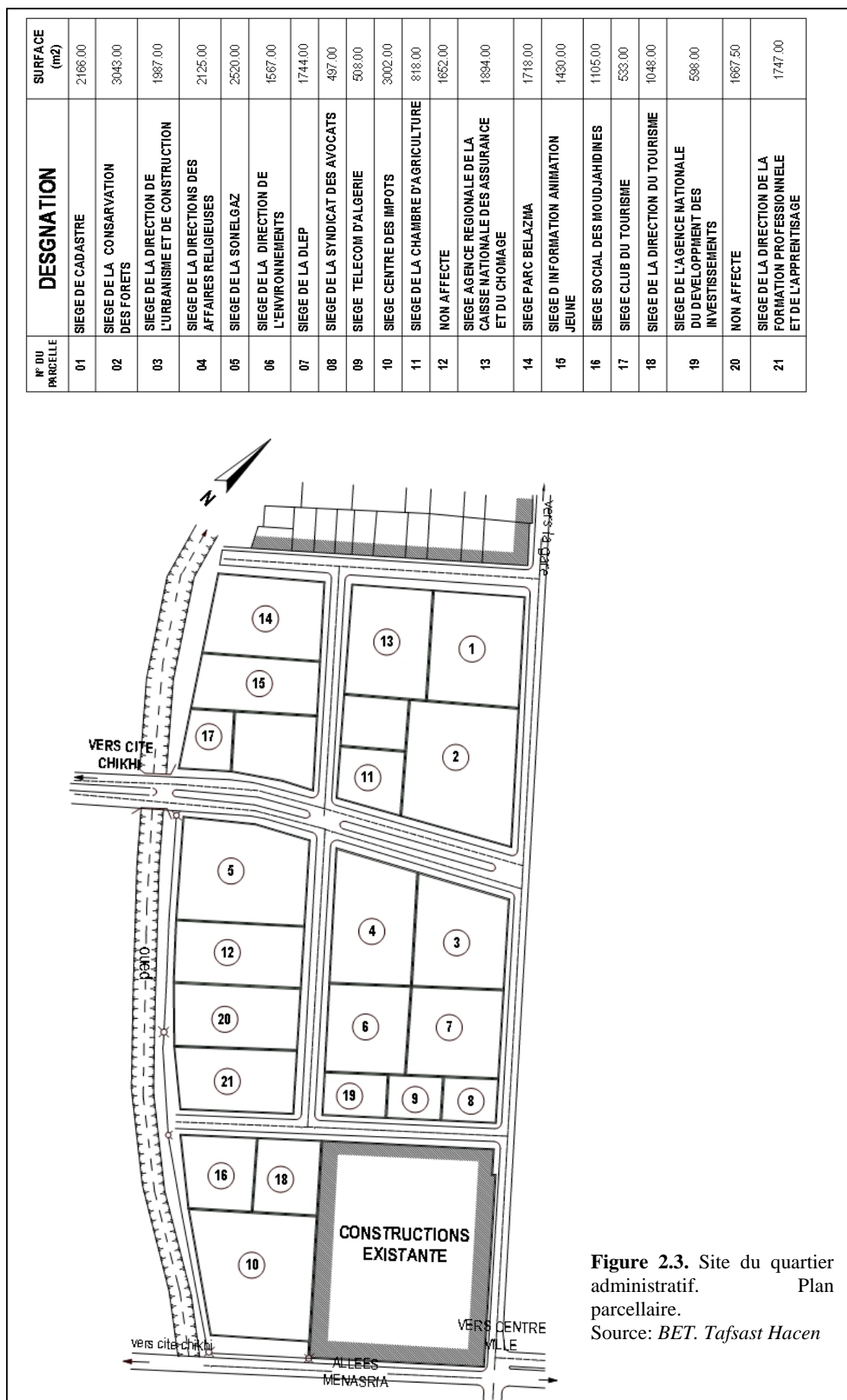


Figure 2.3. Site du quartier administratif. Plan parcellaire.
Source: BET. Tafast Hacem

2.3. Réseaux routier :

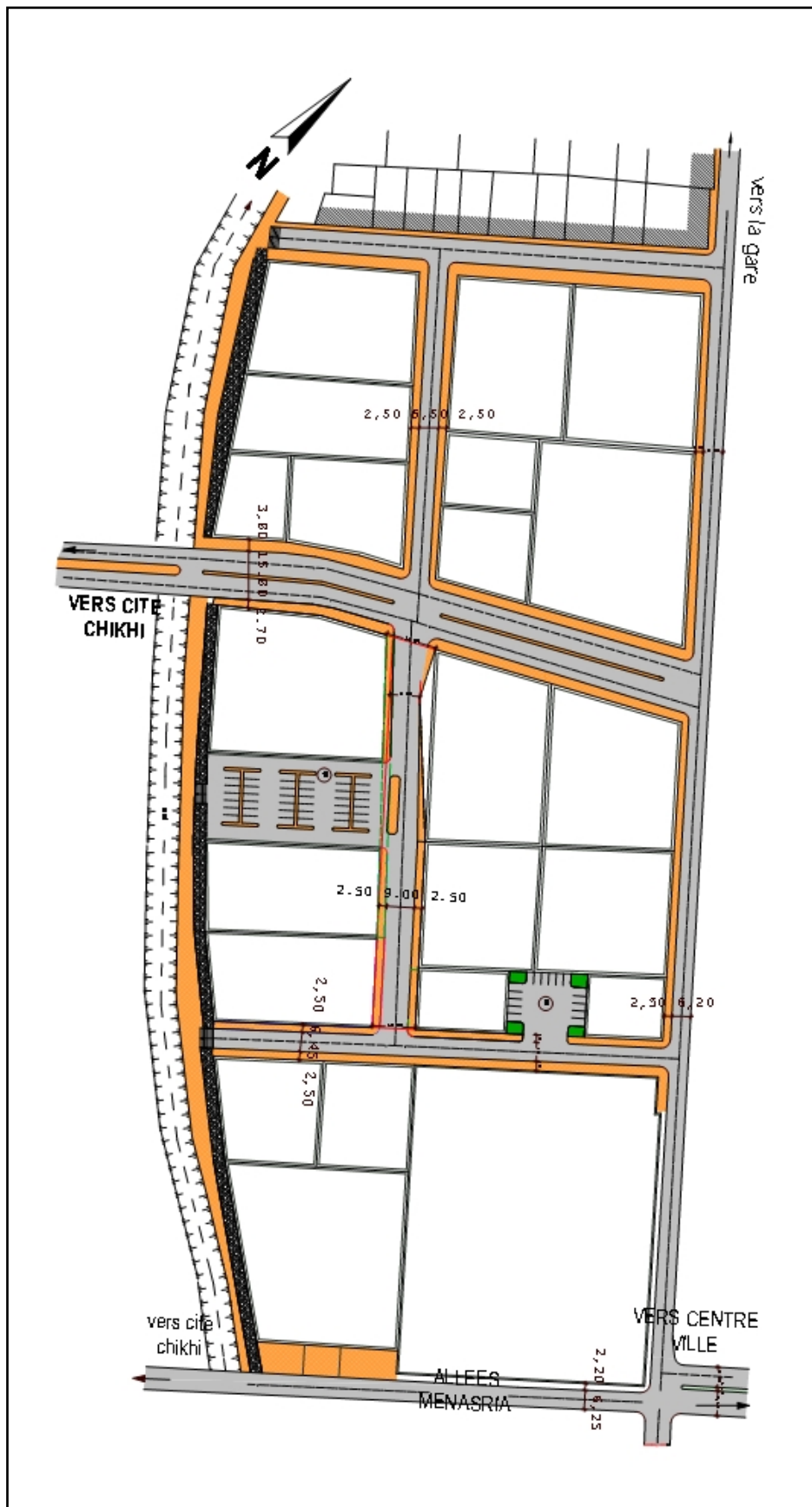


Figure 2.4. Site du quartier administratif. Réseau routier et orientation des rues.
Source: BET. Tafsst Hacem